

ELAINE CRISTINE BARROS DE SOUZA

**ANÁLISES TEMPORAIS DE ALTA PRECISÃO UTILIZANDO GPS
PARA AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS
OCORRIDAS NO ISTMO DA ILHA DO MEL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas do Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas.

Orientadora:
Prof.^a Dr.^a Claudia Pereira Krueger

Co-orientadora:
Prof.^a Dr.^a Claudia Robbi Sluter

CURITIBA

2002

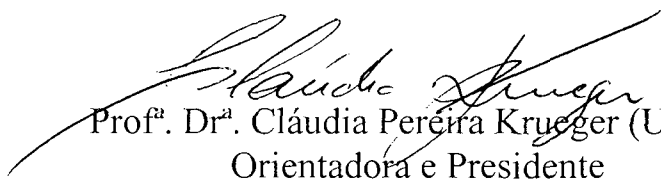
**“ANÁLISES TEMPORAIS DE ALTA PRECISÃO UTILIZANDO GPS
PARA AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS
OCORRIDAS NO ISTMO DA ILHA DO MEL”**

POR

ELAINE CRISTINE BARROS DE SOUZA

Dissertação nº 161 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre
no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade
Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

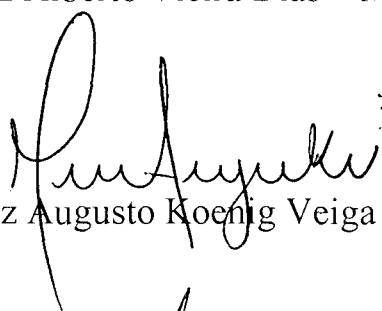
Curitiba, 19 de abril de 2002.



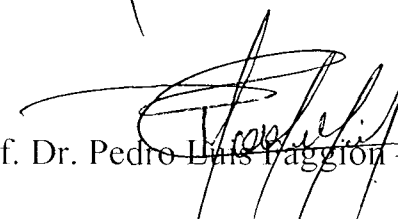
Prof.^a. Dr.^a. Cláudia Pereira Krueger (UFPR)
Orientadora e Presidente



Prof. Dr. Luiz Alberto Vieira Dias – Membro (UNIVAP)



Prof. Dr. Luiz Augusto Koenig Veiga – Membro (UFPR)



Prof. Dr. Pedro Luis Faggioni – Membro (UFPR)

DEDICATÓRIA

*“Nunca ande pelo caminho traçado,
pois ele conduz somente até onde os
outros foram”.*

Alexandre Graham Bell

*“Toda a nossa ciência, comparada
com a realidade, é primitiva e infantil
e, no entanto, é a coisa mais preciosa
que temos”.*

Albert Einstein

Dedica-se este trabalho:

Aos meus queridos pais Antônio e Mariza, inspiração de vida. Por estarem sempre presentes nos momentos mais críticos, pelo incentivo permanente, pela atenção, pela educação e amor com que me criaram e pelo esforço na busca da melhor formação intelectual que pudessem me oferecer, as heranças mais valiosas...

Ao meu irmão e amigo Rodrigo, simplesmente por existir.

A minha orientadora e amiga Prof^a. Dr^a. Claudia P. Krueger, quem despertou a paixão pela Geodésia espacial. Profissional competente, orientadora habilidosa como pesquisadora, educadora e balizadora de questões importantes. Agradeço pela amizade, pelo apoio e incentivo, pela orientação, pelas discussões e valiosas sugestões durante todo o decorrer desta pesquisa e pelo carinho colocado de forma gentil e humana em todos os momentos desta caminhada.

A J. Renato pelo apoio fundamental no início da minha vida acadêmica. Agradeço pelos momentos vividos e compartilhados, pelo incentivo, pela atenção, pelos conselhos e idéias.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e valentia que nos permite enfrentar os desafios e desfrutar cada dia, pois a vida, no processo evolutivo, é sempre força da experiência e a valentia de um homem se mede pela força de seu trabalho.

A Prof^a. Dr^a. Cláudia Robbi Sluter prezada co-orientadora, pela cordialidade e atenção que sempre me foram dispensadas, por toda sua dedicação e apoio, demonstrando grande aptidão à função de orientação, a qual lhe é atribuída por força de sua atividade acadêmica.

Ao Prof^o. Dr. Luiz Augusto Koenig Veiga (UFPR) e ao Prof^o. Dr. Luiz Alberto Vieira Dias (UNIVAP), componentes da banca examinadora por ocasião do exame de qualificação (Seminário I), pelas contribuições inestimáveis por meio das sugestões para o enriquecimento do trabalho.

À Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas pela oportunidade de freqüentar o curso de mestrado e também pelo uso de suas instalações e laboratórios.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos necessária no apoio e desenvolvimento da pesquisa.

Aos Coordenadores e membros participantes do projeto de cooperação bilateral entre Brasil e Alemanha / Convênio CNPq (Brasil) e DLR-KFA (Alemanha), intitulado: “Desenvolvimento de Redes de Referência Locais Visando Aplicações do GPS de Alta Precisão em Tempo Real”: Prof. Dr. -Ing. Günter Seeber – Institut für Erdmessung – Universidade de Hannover e Prof. Dr. Camil Gemaël – CPGCG – Universidade Federal do Paraná. Agradeço também aos pesquisadores Dipl. Ing. Stefan Willgalis (IfE/Alemanha) e Dipl. Ing. Volker Böder (IfE/Alemanha) pela

atenção dispensada e pela oportunidade que tive em participar da 4ª missão (UFPE/Recife/Brasil) e da 5ª missão (IfE/ Hannover/Alemanha) neste projeto.

Aos bolsistas e colegas do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da UFPR, Carlos Alberto Zocolotti, Joilson José Jubanski, Márcio José Urakawa, Maurício I. Sejas e Samantha da Cruz Moraes, pela amizade, pelo carinho e auxílio nos levantamentos de campo na Ilha do Mel.

A todos os professores do CPGCG e do Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná.

Aos Profissionais da Biblioteca de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

À Verali Mônica Kleuser Reguilin, Secretária do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas com os quais no período de elaboração da dissertação foram refletidas a aplicabilidade e interdisciplinaridade do tema pesquisado, pelo companheirismo, discussões sobre os temas técnicos, pelo incentivo permanente e pela amizade em todos os momentos e nas horas certas. Em especial gostaria de agradecer aos amigos: Alfonso Rodrigo Tierra Criollo, Alteni Fidelis Pimenta, Carlito Vieira de Moraes, Claudia C. S. Saraiva, Isabel Franco do Lago, Guataçara dos Santos Júnior, Marcelo Costa Napoleão, Maria de Lourdes de A. M. Gonçalves, Moisés Ferreira da Costa, Regiane Dalazoana, Reginaldo de Oliveira, Sandro Reginato Soares de Lima, Selma R. A. Ribeiro, Silvia Regina Nunes de Souza, Niel Teixeira do Nascimento.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O TEMA: DEFINIÇÃO, DELIMITAÇÃO E IMPORTÂNCIA	1
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.4 CONTRIBUIÇÕES	5
1.5 ESTRUTURAÇÃO	6
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS GPS	7
2.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL	7
2.1.1 História, características e segmentos do sistema.....	7
2.1.1.1 Observáveis GPS	17
2.1.1.2 Técnicas de segurança e erros do sistema.....	20
2.1.2 Métodos de Posicionamento.....	22
2.1.2.1 Método absoluto	23
2.1.2.2 Método relativo.....	27
2.1.2.3 Método diferencial.....	30
2.1.2.4 Transmissão das correções diferenciais	35
2.1.3 Perspectivas Futuras e Modernização do GPS	41
3 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO (MDT)	43
3.1 GRADES E INTERPOLADORES	46
3.1.1 Grade Retangular	48
3.1.2 Grade Triangular.....	52
3.1.3 Grade Retangular x Grade Triangular	55
3.2 CÁLCULOS DE VOLUME A PARTIR DE UM MDT	56
3.3 PARTICULARIDADES DO PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZADO NA GERAÇÃO DOS MDT E CÁLCULO DOS VOLUMES (SURFER)	57
4 ÁREA DE ESTUDO	59
4.1 ILHA DO MEL (HISTÓRICO)	59
4.1.1 Introdução.....	59
4.1.2 Trabalhos Anteriores.....	61
4.1.3 Localização, Acesso, Limites e Tipologia do Litoral do Estado Paranaense	62
4.1.4 Histórico da Ilha	64

4.1.5 Situação Geográfica.....	66
4.1.6 Geografia: Tipos de Solos, Clima, Ventos	69
4.1.7 Aspectos Legais.....	70
4.1.7.1 Coletânea de legislação e documentação.....	70
4.1.8 Problemas Relacionados com a Ilha do Mel.....	72
4.1.9 Erosão Aspectos Gerais	73
4.1.10 A Erosão Marinha e o Contexto do Litoral Paranaense	75
4.1.10.1 A Erosão na Ilha do Mel.....	76
4.1.11 Assoreamentos e Dragagens	82
 5 DESCRIÇÃO E RESULTADOS ALCANÇADOS NOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO EXECUTADOS.....	 83
5.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA	83
5.1.1 Equipamentos Utilizados	83
5.1.2 Programas Computacionais Utilizados.....	84
5.1.2.1 GNREF/GNRT-K (para o posicionamento PDGPS)	84
5.1.2.2 GEONAP-K (para o processamento dos dados)	85
5.1.2.3 PRISM (para o processamento dos dados)	86
5.1.2.4 SURFER (para a geração e análise dos MDT)	86
5.2 LEVANTAMENTOS REALIZADOS EM 1997, RESULTADOS E ANÁLISES.....	87
5.3 LEVANTAMENTOS REALIZADOS EM 1999	94
5.3.1 Resultados e Análises Obtidos para os Levantamentos de 1999	99
5.3.1.1 Resultados obtidos para a estação MOBI com a estação de referência IDMA.....	99
5.3.1.2 Resultados obtidos para a estação MOBI, com as estações de referência PARG, GUAR e CEM2.....	101
5.3.1.3 Correlação espacial.....	106
5.4 LEVANTAMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES REALIZADOS EM 2001.....	111
5.5 PROCEDIMENTOS PARA O CÁLCULO DOS VOLUMES E ANÁLISES DOS RESULTADOS ALCANÇADOS NOS LEVANTAMENTOS REALIZADOS NO ISTMO DA ILHA DO MEL	115
5.5.1 Procedimentos e Análises entre as épocas 1997, 1999 e 2001	115
 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	 130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
ANEXO 1 GLOSSÁRIO DE TERMOS EM GEOLOGIA MARINHA	141
APÊNDICE 1 RESULTADOS (REPORTER) DE SAÍDA FORNECIDOS PELO SURFER	146

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	<i>STATUS</i> DA CONSTELAÇÃO NAVSTAR-GPS (DEZEMBRO DE 2001).....	12
QUADRO 2	ESTRUTURA DOS SINAIS GPS.....	13
QUADRO 3	RECOMENDAÇÕES PARA O POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E ESTÁTICO RÁPIDO	29
QUADRO 4	PRECISÕES HORIZONTAIS NO MÉTODO GPS DIFERENCIAL.....	31
QUADRO 5	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E PRECISÕES DAS TÉCNICAS DO MÉTODO DIFERENCIAL.....	33
QUADRO 6	TIPOS DE MENSAGENS RTCM	37
QUADRO 7	COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE GRADE RETANGULAR E TRIANGULAR.....	56
QUADRO 8	COORDENADAS E DIFERENÇAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA DO ISTMO DA ILHA DO MEL	92
QUADRO 9	DISTÂNCIA ENTRE AS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA E A MÓVEL.....	98
QUADRO 10	TESTE COM OS INTERPOLADORES	121
QUADRO 11	VOLUMES DE CORTE CALCULADOS PARA AS TRÊS ÉPOCAS (1997, 1999 E 2001).....	123
QUADRO 12	DIFERENÇAS VOLUMÉTRICAS CALCULADAS PARA A REGRA DOS TRAPÉZIOS ENTRE ÉPOCAS.....	124
QUADRO 13	ÁREAS DOS PERFIS E VOLUMES CALCULADOS PELO MÉTODO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS	129
QUADRO 14	DIFERENÇAS VOLUMÉTRICAS CALCULADAS ENTRE ÉPOCAS	129
QUADRO 15	DIFERENÇAS VOLUMÉTRICAS CALCULADAS PELO MÉTODO TRADICIONAL E PELO SURFER.....	130

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	ESTRUTURA DO SINAL GPS	15
FIGURA 2	ESTAÇÕES MONITORAS GPS	17
FIGURA 3	POSICIONAMENTO ATRAVÉS DA MEDIDA DA PSEUDODISTÂNCIA DE CADA SATÉLITE	18
FIGURA 4	GEOMETRIA DOS SATÉLITES E PDOP	19
FIGURA 5	AMBIGÜIDADE DE CICLOS DA FASE DA PORTADORA	20
FIGURA 6	MÉTODO DE POSICIONAMENTO ABSOLUTO (TÉCNICAS ESTÁTICA E CINEMÁTICA).....	22
FIGURA 7	MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO (TÉCNICAS ESTÁTICA E CINEMÁTICA).....	23
FIGURA 8	MÉTODO ABSOLUTO – PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR PONTO COM AS PSEUDODISTÂNCIAS.....	24
FIGURA 9	APRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA PARA A DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DE UM PONTO COM O GPS.....	26
FIGURA 10	ILUSTRAÇÃO PARA A MEDIDA DA FASE DA PORTADORA.....	29
FIGURA 11	MÉTODO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL	31
FIGURA 12	ETAPAS NA CONSTRUÇÃO E USO DE UM MDT	45
FIGURA 13	MALHA QUADRADA	49
FIGURA 14	GRADE RETANGULAR	49
FIGURA 15	MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO POR VIZINHANÇA	51
FIGURA 16	GRADE TRIANGULAR	53
FIGURA 17	OPÇÕES DE TRIANGULAÇÃO PARA O MESMO CONJUNTO DE PONTOS.....	54
FIGURA 18	RELAÇÃO ENTRE AS SUPERFÍCIES E O VOLUME DE CORTE E ATERRO.....	58
FIGURA 19	DIVULGAÇÃO PELA IMPRENSA NOS ÚLTIMOS ANOS DO PROCESSO EROSIVO DA ILHA DO MEL.....	61
FIGURA 20	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO LITORAL DO ESTADO DO PARANÁ, PRINCIPAIS CIDADES E A ILHA DO MEL	63
FIGURA 21	FAROL DAS CONCHAS.....	66
FIGURA 22	BAÍA DE PARANAGUÁ, COM LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL.....	67
FIGURA 23	TOPONÍMIA DA ILHA DO MEL.....	68
FIGURA 24	VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA NO ISTMO DA ILHA DO MEL, NOS ÚLTIMOS 40 ANOS.....	77
FIGURA 25	FOTOS 1 A 3 - RESSACA NO ISTMO DA ILHA DO MEL	78
FIGURA 26	PROCESSO EROSIVO NA ILHA DO MEL	79
FIGURA 27	COMPARAÇÃO DE FOTOS AÉREAS DA ILHA DO MEL EM DIFERENTES DATAS: 1953 E 1980. INÍCIO DA FORMAÇÃO DO ESPORÃO (BANCO ARENOSO) NA FOTO B.....	80
FIGURA 28	LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA E MÓVEL (ILHA DO MEL E PONTAL DO SUL).....	88
FIGURA 29	PERFIS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS REALIZADOS NO ISTMO DA ILHA DO MEL	89
FIGURA 30	ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA INSTALADA NO CEM.....	90
FIGURA 31	ESQUEMA DA ESTAÇÃO MÓVEL PARA O LEVANTAMENTO DO ISTMO DA ILHA DO MEL	91
FIGURA 32	MODELO TRIDIMENSIONAL PARA O ISTMO DA ILHA DO MEL GERADO A PARTIR DAS COORDENADAS OBTIDAS EM TEMPO REAL PELO GNRT-K.....	94
FIGURA 33	ÁREA DE ESTUDO COM A REDE DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA LOCAL IMPLANTADA.....	95
FIGURA 34	ESQUEMA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA GUAR, PARG E ANTO	96
FIGURA 35	ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA MOBI	97
FIGURA 36	ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2	97
FIGURA 37	ISTMO DA ILHA DO MEL COM AS ESTAÇÕES IDMA E MOBI.....	98

FIGURA 38	ISTMO DA ILHA DO MEL – DADOS IDMA X MOBI.....	99
FIGURA 39	ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2	102
FIGURA 40	ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2 COM AS 5.398 POSIÇÕES	102
FIGURA 41	ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PARG	104
FIGURA 42	ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA GUAR.....	105
FIGURA 43	REDE DE REFERÊNCIA LOCAL	106
FIGURA 44	MDT DO ISTMO DA ILHA DO MEL PARA A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM 2	111
FIGURA 45	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MARCO CEM2.....	112
FIGURA 46	ESTAÇÃO MÓVEL.....	113
FIGURA 47	ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM 2 E A MOBI	114
FIGURA 48	MDT DO ISTMO DA ILHA DO MEL PARA A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2..	115
FIGURA 49	ISTMO DA ILHA DO MEL (ANO 1997)/INTERPOLADOR: INVERSO DA DISTÂNCIA	119
FIGURA 50	ISTMO DA ILHA DO MEL (ANO 1997)/INTERPOLADOR: VIZINHO MAIS PRÓXIMO	119
FIGURA 51	ISTMO DA ILHA DO MEL (ANO 1997)/INTERPOLADOR:MÍNIMA CURVATURA..	120
FIGURA 52	GRADES GERADAS ANTES E DEPOIS DA CRIAÇÃO DOS ARQUIVOS <i>BLANKED</i> GERADAS A PARTIR DO INTERPOLADOR INVERSO DA DISTÂNCIA	122
FIGURA 53	PERFIS GERADOS PARA OS LEVANTAMENTOS DE 1997 NO ISTMO DA ILHA DO MEL (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2).....	126
FIGURA 54	PERFIS GERADOS PARA OS LEVANTAMENTOS DE 1999 NO ISTMO DA ILHA DO MEL (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2).....	127
FIGURA 55	PERFIS GERADOS PARA OS LEVANTAMENTOS DE 2001 NO ISTMO DA ILHA DO MEL (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2).....	128

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS DOS PERFIS LONGITUDINAIS.....	92
GRÁFICO 2	DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS DOS PERFIS TRANSVERSAIS.....	93
GRÁFICO 3	DIFERENÇAS EM φ , λ , E H (cm) PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO DOS PERFIS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS.....	93
GRÁFICO 4	DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)	100
GRÁFICO 5	DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)	103
GRÁFICO 6	DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)	104
GRÁFICO 7	DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)	106
GRÁFICO 8	POSIÇÕES PARA O TEMPO 232000 s E SEUS DESVIOS	107
GRÁFICO 9	POSIÇÕES PARA O TEMPO 233350 s E SEUS DESVIOS	107
GRÁFICO 10	POSIÇÕES PARA O TEMPO 234075 s E SEUS DESVIOS	108
GRÁFICO 11	POSIÇÕES PARA O TEMPO 234330 s E SEUS DESVIOS	108
GRÁFICO 12	DIFERENÇAS EM LATITUDE EM ALGUNS INSTANTES GPS.....	109
GRÁFICO 13	DIFERENÇAS EM LONGITUDE EM ALGUNS INSTANTES GPS	110
GRÁFICO 14	DIFERENÇAS EM ALTITUDE EM ALGUNS INSTANTES GPS.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAF:	Americam Air Force
APPA:	Associação dos Portos de Paranaguá e Antonina
AOC:	Auxiliary Output Chips
APL:	Applied Physics Laboratory
ARNS:	Aeronautical Radio Navigation Services
AS:	Anti-Spoofing
bps:	bits por segundo
C/A:	Coarse Acquisition
CDMA:	Code Division Multiple Acess
CEM:	Centro de Estudos do Mar
Cfa:	Clima pluvial temperado sempre úmido
DGPS:	Differential GPS
DHN:	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DMA:	Defense Mapping Agency
DoD:	Departament of Defense
DOP:	Dilution of Precision
FOC:	Full Operational Capability
GDOP:	Geometric Dilution of Precision
GEONAP:	GeodeticNAVSTAR Positioningssoftware
GPS:	Global Positioning System
GLONASS:	Global Navigation Satellite System
HDOP:	Horizontal Dilution of Precision
IAP:	Instituto Ambiental do Paraná
IERS:	International Earth Rotation Service
IBAMA:	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOD:	Issue of Data
ION:	Institut of Navigation
ITCF:	Instituto de Terras, Cartografia e Florestas
LAGE:	Laboratório de Geodésia Espacial
LF:	Large Frequency
MDT:	Modelo Digital do Terreno
MF:	Midle Frequency
NAVSTAR-GPS:	Navigation System with Time and Ranging-Global Positioning System
NIMA:	National Imagery and Mapping Agency
NMEA:	National Marine Electronics Association
NNSS:	Navy Navigation Satellite System
NRL:	Naval Research Laboratory
OTF:	On the Fly
PDGPS:	Precise Differential Global Positioning System
PDOP:	Position Dilution of Precision
PNAV:	Precise Differential GPS Navigation and Surveying

PPS:	Precise Positioning Service
PRN:	Pseudorandom Noise
Pva:	Podzólico vermelho amarelo
RINEX:	Receiver Independent Exchange (format)
RTCM:	Radio Technical Commission for Maritime (services)
RTK:	Real Time Kinematic
SA:	Selective Availability
SIG:	Sistema de Informações Geográficas
SNV:	Space Vehicle Number
SPS:	Standard Positioning Service
SSR:	Satellite to Satellite Ranging
SVID:	Space Vehicle Identification
TIN:	Triangulated Irregular Network
TDOP:	Time Dilution of Precision
TUC:	Tempo Universal Coordenado
UDRE:	User Differential Range Error
UHF:	Ultra High Frequency
UNESCO:	Organização das Nações Unidas para Educação Ciência e Cultura
USNO:	United States Naval Observatory
UTM:	Universal Transverse Mercator (projection)
VDOP:	Vertical Dilution of Precision
VHF:	Very High Frequency
WGS-84:	World Geodetic System-84
WADGPS:	Wide Area Differential GPS

RESUMO

As ações e os projetos envolvendo temas ambientais devem estar apoiados em uma base geodésica e por uma cartografia de qualidade. Neste sentido, o *Global Positioning System* (GPS) é um componente eficaz para apoiar pesquisas no âmbito marinho, contribuindo para a formação de uma base geométrica uniforme num setor importante do meio ambiente, cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos e ou reconstruídos por atividades orgânicas e humanas, bem como por fenômenos de recirculação física e química. Ao longo do tempo, todas as alterações no meio ambiente marinho causadas pela ação antrópica local trazem sérias consequências, afetando drasticamente a cadeia trófica local e todas as condições dinâmicas impostas pelo ambiente. Com o presente trabalho verificam-se as soluções de alta precisão com o uso do GPS no istmo da Ilha do Mel, a qual se situa na entrada da baía de Paranaguá, no litoral do estado do Paraná. Buscou-se desenvolver um estudo geodésico nessa área, obtendo informações que permitiram a geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) do istmo, possibilitando calcular as variações volumétricas entre diferentes épocas (1997, 1999 e 2001), quantificando a erosão e/ou progradação ocorridas nestes períodos. As informações e os produtos cartográficos gerados servirão para apoiar os demais projetos a serem lá desenvolvidos. Outra análise efetuada foi à correlação espacial empregando-se o *Precise Differential GPS* (PDGPS), consistindo de uma estação móvel e quatro estações de referência local, instaladas nas cidades de Paranaguá (PARG), junto à Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA); Pontal do Sul (CEM2), junto ao Centro de Estudos do Mar (CEM); Guaraqueçaba (GUAR), junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA); bem como na Ilha do Mel (IDMA). Neste trabalho realizaram-se investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS nesses ambientes marinhos, sendo apresentados os métodos, as técnicas, os estudos de viabilidade, as precisões alcançadas, as análises de resultados e também as restrições apresentadas. Com a utilização do GPS para a detecção das variações volumétricas na área erosiva do istmo, pode-se verificar a sua praticabilidade, além da viabilidade em função da precisão relativa alcançada.

Palavras-chave: PDGPS, MDT, Âmbito Marinho.

ABSTRACT

The actions and projects involving environmental themes must be supported by a geodetic base and by a good quality cartography. In this sense, Global Positioning System (GPS) is an efficient component to support such researches in the marine environment, where it contributes to develop a uniform geometrical basis in an important section of the environment, whose components have been continually altered, consumed or rebuilt by human and organic activities, and by physical and chemical recirculation phenomena as well. In time, all the alterations in the marine environment caused by the local anthropical action bring serious consequences, drastically affecting the local trophical chain and all the dynamic conditions imposed by the environment. The objective of this work is to analyse the high precision solutions with the use of GPS in the isthmus of the Ilha do Mel Island, an island located on the entrance of the Paranaguá bay, on the coast of the state of Paraná. A geodetic study in that area, has been developed, obtaining information that allowed the generation of Digital Terrain Models (DTM) of the isthmus, thus making the calculation of the volumetric variations among different times (1997, 1999 and 2001), possible in order to quantify the erosion in these periods. The information and the generated cartographic products will support the other projects to be developed there. Also an analysis of the spatial correlation using Precise Differential GPS was made. The PDGPS, consists of a mobile station and four local reference stations. They were installed in the cities of Paranaguá (PARG), close to port authority of Paranaguá and Antonina (APPA); Pontal do Sul (CEM2), close to the Center of Studies of the Sea (CEM); Guaraqueçaba (GUAR), near the Brazilian Institute of the environment (IBAMA); as well as in the Ilha do Mel island (IDMA). In this work, the applications of high precision of GPS in those marine environments were investigated, being presented the methods, techniques, viability studies, analysis of results as well as the restrictions. With the use of GPS for the detection of the volumetric variations in the erosive area of the isthmus, its performance can be verified, along with the viability, according to the relative precision obtained.

Key-Words: PDGPS, DTM, Marine Enviroment.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE O TEMA: DEFINIÇÃO, DELIMITAÇÃO E IMPORTÂNCIA

Desde 1985 o GPS vem sendo empregado com pleno êxito em trabalhos e em pesquisas desenvolvidos no âmbito marinho que envolvem alta precisão, como por exemplo: na navegação precisa em áreas costeiras; no mapeamento do fundo do mar; nos levantamentos hidrográficos precisos; no acesso a portos; no monitoramento de assoreamentos e de erosões em rios, lagos, áreas portuárias e áreas costeiras; no controle de atitude em embarcações, bóias e plataformas flutuantes, e no controle contínuo e preciso das alturas e posicionamento de sensores abaixo d' água (KRUEGER, 1996, p.1),

No litoral paranaense têm-se desenvolvido alguns levantamentos geodésicos objetivando: o monitoramento de áreas sujeitas a acreção/progradação (aumento da linha de costa) e ao recuo/erosão (diminuição da linha de costa); o posicionamento preciso de embarcações, de recifes artificiais, bóias e plataformas; a localização dos recifes artificiais; levantamentos cadastrais de cais portuários; testes com uma rede de estações de referência local. Na década de 90 iniciaram-se estudos na Ilha do Mel, baseados no posicionamento por meio de técnicas espaciais, visando detectar e quantificar a evolução temporal das linhas de costa, bem como a variação do processo erosivo do istmo desta ilha.

De uma forma mais ampla em se tratando de Brasil, país com grande extensão territorial e marítima, é de extrema importância um melhor conhecimento sobre suas áreas e conformações. Sabe-se que um dos aspectos principais de um projeto geoambiental está relacionado com a capacidade de se compreender os fenômenos que estão ocorrendo na região em estudo. O GPS contribui para a formação de uma base geométrica uniforme, sendo possível gerar alguns produtos cartográficos a partir destes dados, como Modelos Digitais do Terreno (MDT) ou o cadastro de objetos/feições que poderão compor um banco de dados em um Sistema de

Informações Geográficas (SIG), como por exemplo: berços, cabeços, bóias de sinalização, cais portuários, canalizações de água e luz, oleodutos e gasodutos.

Cabe ressaltar que o emprego do *Precise Differential GPS* (PDGPS) tem se mostrado eficiente nas mais diversas áreas de levantamentos em que tem sido utilizado no Brasil, principalmente nas aplicações em regiões costeiras. Algumas instituições têm empregado o PDGPS com o auxílio do programa computacional GNREF/GNRT-K, este programa possibilita a determinação da posição em tempo real, por meio da combinação dos dados brutos da estação móvel com as correções transmitidas pela estação de referência, este programa permite a determinação de coordenadas com precisões da ordem do decímetro. Inicialmente os usuários empregavam o posicionamento relativo com a técnica estática e posteriormente com as técnicas cinemáticas em face do desenvolvimento e implementação de algoritmos cada vez mais eficientes para a resolução das ambigüidades nos programas GPS. Apesar desta técnica ser muito produtiva e também precisa, ela requer ainda o pós-processamento dos dados para atender o padrão de precisão necessário dependendo do projeto a ser executado. Nos levantamentos em tempo real, o usuário aplica a técnica *Real Time Kinematic* (RTK) e a técnica (PDGPS), sendo que as determinações das coordenadas precisas de pontos, podem ser obtidas pelos equipamentos capacitados com a técnica RTK ou pelos programas GPS, como por exemplo, o GNREF/GNRT-K/GNNET.

Com o auxílio do GPS e com uma atuação cartográfica multidisciplinar, espera-se fornecer uma visão sistemática sobre os problemas ambientais na área em estudo, ou seja, no istmo da Ilha do Mel, o qual tem apresentado nos últimos anos uma tendência erosiva. A Ilha do Mel situa-se na entrada da bacia de Paranaguá, litoral do Estado do Paraná. Ela possui uma parte noroeste mais extensa e uma parte sudeste menor, ligadas por um istmo em franco processo erosivo. Trata-se de um levantamento atrativo e viável, em função de que o GPS utiliza uma tecnologia precisa em um setor do meio ambiente, cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos ou reconstruídos pela própria atividade orgânica e por fenômenos de recirculação física e química.

Com relação à área costeira, sua aparência varia com o ganho ou com a perda de areia (variação da linha de costa). A linha de costa é o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental, essa linha pode sofrer um avanço (progradação) ou um recuo (erosão) (SUGUIO, 1992). Essa variação poderá alterar o balanço sedimentar em função da variabilidade de parâmetros oceanográficos como: ondas, correntes e marés; dados meteorológicos; precipitação, direção e intensidade de vento. Modificações nas taxas de aporte e da retirada de sedimentos tendem a provocar sérios problemas em áreas urbanizadas que representam uma importante opção de lazer e de atividade econômica, principalmente quando o balanço é negativo, gerando erosão (GUERRA e CUNHA, 1996, p. 191-192). Toda e qualquer alteração no meio ambiente mais precisamente falando no meio marinho ao longo do tempo pela ação antrópica, pode trazer sérias consequências, afetando drasticamente, como por exemplo: a cadeia trófica local, as áreas de preservação (matas permanentes), a pesca local e todas as condições impostas pelo meio ambiente.

As praias compreendem um ambiente sedimentar muito dinâmico e protegem o continente contra a erosão das ondas. De acordo com BIRD (1996, p. 74), 70% das costas arenosas do mundo estão sofrendo processos erosivos, 10% estão em progradação e os restantes 20% encontram-se em relativa estabilidade. No Brasil esse fenômeno tem se tornado cada vez mais evidente causado pela dinâmica de circulação costeira, a elevação do nível relativo do mar e as intervenções antrópicas na linha de costa e/ou no continente (SOUZA e SUGUIO, 1996, p. 405).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel em diferentes épocas (1997, 1999 e 2001).

Os objetivos específicos nesta dissertação são:

- a) utilizar a técnica de posicionamento PDGPS, mostrar a sua viabilidade e as precisões alcançadas empregando receptores GPS de dupla frequência;
- b) utilizar o programa GNREF/GNRT-K, desenvolvido pela empresa Geo++ (Alemanha), na técnica PDGPS visando a resolução rápida das ambigüidades inteiras e o cálculo das correções diferenciais;
- c) investigar as degradações nos posicionamentos e a correlação espacial; e
- d) realizar análises das variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel desde 1997.

1.3 JUSTIFICATIVA

O cenário de degradação dos ecossistemas em que se encontra a zona costeira da Ilha do Mel aponta para a necessidade de levantamentos, tratamentos e sistematização de informações geoambientais, bem como de sua uniformização quanto à representação cartográfica, visando a sua utilização nos diversos instrumentos de políticas públicas. A implantação de qualquer tipo de atividade antrópica e a previsão dos impactos gerados por ela, dependem essencialmente dos condicionantes do meio físico. Assim a tomada de decisões e o planejamento de ações voltadas ao gerenciamento territorial e/ou à mitigação de problemas ambientais, vão requerer a elaboração de diagnósticos e prognósticos geoambientais, embasados em levantamentos e em investigações de alta precisão.

A Ilha do Mel representa importante papel ecológico como refúgio e criadouro de espécies animais, área turística e histórica no contexto do litoral paranaense e também reconhecida no ano 2000 pela Organização das Nações Unidas para Educação

Ciência e Cultura (UNESCO), como patrimônio mundial da natureza, quando da criação da primeira reserva da biosfera em território brasileiro com intuito de conservação da floresta Atlântica e seu reconhecimento internacionalmente. Estes aspectos tornam as investigações técnicas/científicas a serem realizadas nessa ilha pertinentes e importantes em se tratando de regiões costeiras. Deste modo, cabe aos pesquisadores compreender, analisar e informar as questões e as conclusões advindas destas investigações, fornecendo diagnósticos e se possível prognósticos da área em questão.

Tendo em vista as demandas apontadas e a verdadeira função dos centros de pesquisa, que é levar à comunidade, aos administradores públicos, aos planejadores, e aos ambientalistas a importância das informações geodésicas e cartográficas e a importância da caracterização do meio físico no processo de planejamento prévio adequado, justifica-se a execução desta pesquisa, como auxílio e contribuição para um melhor conhecimento da área costeira em questão, embasada em levantamentos geodésicos de alta precisão. Outro motivo para a realização desta pesquisa é o número reduzido de pessoas no Brasil que trabalham com a técnica PDGPS no âmbito marinho, sendo muito importante estudos de viabilidade, análises de resultados e restrições apresentadas pela técnica e pelos programas que ela envolve.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

A principal contribuição desta dissertação é analisar as alterações temporais ocorridas no istmo da Ilha do Mel a partir de dados coletados em levantamentos GPS desde 1997. A ilha tem apresentado alterações em face de processos erosivos e progradados ali existentes. Sendo esta uma área de grande interesse turístico e atual preocupação ambiental, principalmente pela comunidade, órgãos estaduais e centros de pesquisa, uma vez que a separação da ilha em duas porções poderá mudar a desembocadura da Baía de Paranaguá, afetando as condições de acesso ao porto de

Paranaguá, que, segundo a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), é o primeiro porto em exportação de grãos e um dos maiores em arrecadação de divisas do Brasil.

A partir de levantamentos GPS de diferentes épocas realizados no istmo da ilha foi possível avaliar e também iniciar um monitoramento do processo sedimentar do istmo. Este monitoramento possibilita o cálculo das variações volumétricas entre os anos de 1997, 1999 e 2001, quantificando o volume erodido e/ou progradado nessas épocas.

O intuito de tais investigações é contribuir em estudos geológicos já desenvolvidos na Ilha do Mel e em regiões costeiras próximas a ela, podendo-se citar: ANGULO (1992), FIGUEIREDO (1954), PARANHOS F^o. (1996), SOARES (1990) e LAMOUR (2000). Apesar da erosão marinha ser um processo natural ou induzido pelo homem, é possível realizar um monitoramento e um controle mais eficiente da área da Ilha do Mel, uma vez que a construção de uma base geodésica e uma cartografia com as informações devidamente classificadas, hierarquizadas e representadas em mapas para uma gestão eficaz e segura, possibilitará um debate permanente e a mobilização sobre os riscos e sobre os problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público, de determinadas atividades humanas ou de fatores naturais induzidos ou não, provocados por alterações geoambientais e climáticas.

1.5 ESTRUTURAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. No capítulo 2 estão relatados os princípios básicos do GPS, sua história, características, segmentos do sistema, observáveis GPS, técnicas de segurança e os erros do sistema. Ainda neste capítulo, apresentam-se os métodos e as técnicas de posicionamento com o GPS, visando oferecer ao leitor uma visão conceitual, englobando ainda questões quanto à transmissão das correções diferenciais.

No capítulo 3 apresenta-se uma breve revisão sobre os MDT, as grades e os interpoladores. A descrição, localização, acesso, limites e tipologia do litoral do Estado do Paraná, bem como o histórico, situação geográfica, aspectos legais, uma breve coletânea da legislação e da documentação e os problemas quanto à erosão e progradação da Ilha do Mel fazem parte do capítulo 4.

O capítulo 5 trata dos levantamentos efetuados, as investigações da precisão quanto à correlação espacial usando diferentes estações de referência, análise dos resultados obtidos para as soluções PDGPS, os Modelos Digitais do Terreno gerados, os volumes computados e as variações volumétricas obtidas entre as épocas (anos de 1997, 1999 e 2001). No capítulo 6 apresentam-se as conclusões obtidas, bem como as recomendações a serem observadas em outros levantamentos que poderão ser realizados no âmbito do istmo da Ilha do Mel ou em regiões costeiras próximas a ela.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS GPS

2.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

2.1.1 História, Características e Segmentos do Sistema

Os estudos iniciais para o desenvolvimento do *Global Positioning System* (GPS) datam de 1973. O propósito inicial da sua concepção foi contornar as limitações existentes no sistema TRANSIT (o primeiro sistema operacional para navegação baseado em sinais transmitidos por satélites) principalmente aquelas relativas à navegação. Devido à cobertura global proporcionada pela constelação GPS, a operacionalidade do sistema atende as 24 horas do dia, garantindo que, mesmo sob quaisquer condições meteorológicas, existam pelo menos quatro satélites acima do plano do horizonte do observador. Esta situação garante a condição geométrica mínima necessária à navegação em tempo real com o GPS. Cientistas e pesquisadores, em todo mundo, começaram a descobrir e a explorar as potencialidades do sistema, não só aquelas destinadas à navegação, mas também, em aplicações nas áreas da

Geodésia, Geodinâmica e Cartografia, tais como: no estabelecimento de redes geodésicas; nos levantamentos para fins de apoio fotogramétrico; no controle de deformações; na determinação altimétrica; na agricultura de precisão; nos estudos relacionados à atmosfera e no âmbito marinho, etc. Observa-se também grande interesse nas aplicações em tempo real e na integração com outros setores que necessitam de coordenadas precisas.

O conceito de navegação utilizando sinais de rádio transmitidos por satélites artificiais começou com o lançamento do primeiro satélite, o SPUTNIK I (em 04 de outubro de 1957) (ANDRADE, 1988, p. 1). Desde o surgimento da era espacial, os cientistas vêm estudando a possibilidade da utilização de satélites artificiais colocados em órbita terrestre e de estações estabelecidas em terra com o intuito de posicionamento ou navegação.

O primeiro sistema operacional para navegação baseado em sinais transmitidos por satélites foi o *Navy Navigation Satellite System* (NNSS), também conhecido como TRANSIT, que foi desenvolvido pelo *Johns Hopkins Applied Physics Laboratory* (APL). Nesse sistema, a navegação e/ou o posicionamento baseavam-se no efeito Doppler. Tornou-se operacional em 1964, para o uso militar e em 1967 para comunidade civil. Este sistema apresentava uma série de limitações dentre elas as baixas órbitas dos satélites (1.080km), fornecia as posições de navegação somente em duas dimensões (latitude e longitude), dentre outras. Em 1972, o *Naval Research Laboratory* (NRL), propôs o sistema de navegação com relógios mais precisos nos satélites e altitude orbital entre 900 e 1.500km, denominado *Timation*. A força aérea americana neste mesmo ano propôs um terceiro sistema, baseado na medição de distâncias através de códigos modulados nas ondas portadoras emitidas pelos satélites, denominado de *System 621 B*. O atual NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System*), surgiu no ano de 1973 resultando da unificação dos sistemas *Timation* e *621 B*. Foi uma iniciativa visando o estabelecimento e o desenvolvimento de um novo sistema de navegação de abrangência global, proporcionando o posicionamento tridimensional de pontos da superfície terrestre através de sinais de rádio emitidos por satélites artificiais que a

orbitam. O sistema vem sendo administrado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – *Department of Defense* (DoD). Um histórico do desenvolvimento do sistema é apresentado em (PARKINSON et al., 1996).

O GPS é um sistema baseado em uma constelação de 24 satélites artificiais, foi projetado para fornecer aos usuários a posição instantânea, bem como a velocidade de deslocamento de um ponto sobre a superfície da terra, independente das condições meteorológicas sendo possível observar-se simultaneamente, pelo menos 4 satélites acima do horizonte, 24 horas por dia. As principais características do sistema são: disponibilidade contínua dos dados de navegação; não necessita de intervisibilidade entre as estações; possui cobertura global e regional; os satélites são distribuídos em 6 planos orbitais com 55° de inclinação em relação ao equador, com 4 satélites em cada plano; período orbital de 12 horas siderais, orbitando a uma altitude de 20.200km; as efemérides transmitidas pelos satélites GPS contêm os elementos orbitais keplerianos e seus fatores de perturbação; o sistema de referência é o *World Geodetic System 1984* (WGS-84) e o sistema de separação do sinal é o *Code Division Multiple Access* (CDMA).

O sistema GPS pode ser dividido em três segmentos:

Segmento Espacial: É definido pela constelação dos satélites. Tem como função, gerar e transmitir os sinais GPS (códigos, portadoras, mensagens de navegação e identificação dos satélites). Estes sinais são derivados da frequência fundamental f_0 de 10,23MHz, gerados a partir dos osciladores de Rubídio e Césio (altamente estáveis), a bordo dos satélites (SEEBER, 1993, p. 211).

Na concepção original, diversas gerações de satélites fizeram parte do projeto NAVSTAR-GPS, atendendo a certas características físicas e de projeto. Eles são denominados satélites do Bloco I, II, IIA, IIR e IIF, suas particularidades são descritas a seguir:

- a) bloco I: satélites de desenvolvimento e pesquisa (*development satellites*);
- b) bloco II: satélites de produção (*production satellites*);
- c) bloco IIA: satélites avançados de produção (*production advanced satellites*);
- d) bloco IIR: satélites de substituição (*replenishment satellites*);

- e) bloco IIF: satélites de continuidade (*production advanced satellites*), período de 2001 até 2010.

A identificação dos satélites pode ser feita através do número espacial - *Space Vehicle Number* (SVN); do ruído falsamente aleatório - *Pseudorandom Noise* (PRN) e da identificação do veículo espacial e do número da posição orbital - *Space Vehicle Identification* (SVID).

- a.1) **bloco I**: Foram protótipos, sua constelação era composta de 10 satélites, eles ocupavam 2 planos orbitais com inclinação de 63° (SEEBER, 1993, p. 212). Todo o bloco I está inoperável sendo o último satélite desse bloco, denominado SVID 12, desativado no fim de 1995 (MONICO, 2000, p. 23).
- b.1) **bloco II**: Composto de 9 satélites, tornou-se operacional em 1989/1990. A diferença em relação ao bloco I consiste na inclinação do plano orbital de 55° e nas limitações aos usuários não autorizados quanto ao uso dos sinais emitidos pelos satélites (HOFMANN et al., 2001, p. 13). Essa limitação foi imposta pela segurança norte americana, introduzindo nos satélites degradações de segurança.
- c.1) **bloco IIA**: Composto de 19 satélites, sendo que o satélite PRN-28 em 25/04/92 foi desativado. Atualmente este é o bloco que possui o maior número de satélites em operação (CARVALHO, 1999, p. 7). A capacidade de operação completa *Full Operation Capability* (FOC) só foi alcançada em março de 1994, quando os 24 satélites passaram a operar sem problemas (KRUEGER, 1996, p. 5). Os satélites do bloco II podem armazenar apenas 14 dias de dados de navegação, os do bloco IIA tem capacidade de até 180 dias e alguns deles são equipados com refletores podendo ser rastreados com o sistema de medição a laser (MONICO, 2000, p. 24).
- d.1) **bloco IIR**: Os blocos II e IIA serão substituídos por 20 satélites do bloco IIR (SVID 41 a 66), a terceira geração de satélites, à medida que for necessário. Esses satélites são capazes de determinar a bordo, suas

próprias órbitas através de um sistema autônomo e de gerar suas próprias mensagens de navegação. Foram projetados para a determinação de distâncias recíprocas com os outros satélites, *Satellite to Satellite Ranging* (SSR), o que lhes garante uma certa autonomia com relação ao segmento de controle (LEICK, 1995, p. 62).

- e.1) **bloco IIF**: Refere-se a quarta geração de satélites, a qual substituirá os do bloco IIR, será composta de 33 satélites num período compreendido entre (2001 a 2010) (CARVALHO, 1999, p. 7). Estes satélites deverão estar mais bem equipados do que os satélites anteriores, inclusive com sistema de navegação inercial (GARNÉS, 2001, p. 11). Cada satélite carrega padrões de frequência altamente estáveis, formando uma referência de tempo muito precisa. Os satélites do bloco II e IIA estão equipados com dois osciladores atômicos de Césio e dois de Rubídio. Os satélites do bloco IIR carregarão osciladores de Rubídio e os do bloco IIF poderão vir a carregar *Maser* de hidrogênio, o que há de melhor, nos dias atuais em termos de padrão de frequência (MONICO, 2000, p. 25).

O Quadro 1, lista o *status* da constelação GPS em dezembro de 2001.

QUADRO 1 - STATUS DA CONSTELAÇÃO NAVSTAR-GPS (DEZEMBRO DE 2001)

Bloco	Seqüência de Lançamento	PRN	Data de Lançamento	Plano Orbital	Relógio	Situação Atual
I	1	04	22/02/78			Inativo:17/07/85
I	2	07	13/05/78			Inativo:16/07/81
I	3	06	06/10/78			Inativo:18/05/92
I	4	08	10/12/78			Inativo: 14/10/89
I	5	05	09/02/80			Inativo: 28/11/83
I	6	09	26/04/80			Inativo: 06/03/91
I	7		Falha no Lançamento			
I	8	11	14/07/83			Inativo: 04/05/93
I	9	13	13/06/84	C-1	CÉSIO	Inativo: 20/06/94
I	10	12	08/09/84	A-1	RUBÍDIO	Inativo: 18/11/95
I	11	03	09/10/85	C-4	RUBÍDIO	Inativo: 13/04/94
II	1	14	14/02/89	E-1	CÉSIO	Inativo
II	2	02	10/06/89	B-3	CÉSIO	Ativo
II	3	16	18/08/89	E-5	CÉSIO	Inativo
II	4	19	21/10/89	A-4	CÉSIO	Inativo
II	5	17	11/12/89	D-3	RUBÍDIO	Ativo
II	6	18	24/01/90	F-3	CÉSIO	Inativo
II	7	20	26/03/90			Inativo: 10/05/96
II	8	21	02/08/90	E-2	CÉSIO	Ativo
II	9	15	01/10/90	D-2	CÉSIO	Ativo
IIA	10	23	26/11/90	E-4	CÉSIO	Ativo
IIA	11	24	04/07/91	D-1	CÉSIO	Ativo
IIA	12	25	23/02/92	A-2	CÉSIO	Ativo
IIA	13	28	10/04/92	C-5	CÉSIO	Inativo: 25/04/92
IIA	14	26	07/07/92	F-2	RUBÍDIO	Ativo
IIA	15	27	09/09/92	A-4	CÉSIO	Ativo
IIA	16	01	22/11/92	F-4	CÉSIO	Ativo
IIA	17	29	18/12/92	F-5	RUBÍDIO	Ativo
IIA	18	22	03/02/93	B-1	RUBÍDIO	Ativo
IIA	19	31	30/03/93	C-3	CÉSIO	Ativo
IIA	20	07	13/05/93	C-4	RUBÍDIO	Ativo
IIA	21	09	26/06/93	A-1	CÉSIO	Ativo
IIA	22	05	30/08/93	B-4	CÉSIO	Ativo
IIA	23	04	26/10/93	D-4	RUBÍDIO	Ativo
IIA	24	06	03/03/94	C-1	CÉSIO	Ativo
IIA	25	03	28/03/96	C-2	CÉSIO	Ativo
IIA	26	10	16/07/96	E-3	CÉSIO	Ativo
IIA	27	30	12/09/96	B-2	RUBÍDIO	Ativo
IIA	28	08	06/11/97	A-3	RUBÍDIO	Ativo
IIR	1	12	Falha no Lançamento			
IIR	2	13	23/07/97	F-5	RUBÍDIO	Ativo
IIR	3	11	07/10/99	D-2	RUBÍDIO	Ativo
IIR	4	20	11/05/00	E-1	RUBÍDIO	Ativo
IIR	5	28	16/06/00	B5	RUBÍDIO	Ativo
IIR	6	14	10/11/00	F-1	RUBÍDIO	Ativo
IIR	7	18	30/01/01	E-4	RUBÍDIO	Ativo

FONTE: (CANSPACE, 2001)

Os sinais dos satélites GPS são uni-direcionais de emissão, isto é, os sinais são transmitidos somente pelos satélites, propagando-se através de ondas eletromagnéticas das antenas dos satélites até as antenas dos receptores. A observação fundamental é a medida do tempo de percurso do sinal, entre as antenas do satélite e do receptor. A chave da precisão do GPS é o fato dos componentes dos sinais serem controlados por relógios atômicos. A frequência fundamental (banda L) de 10,23MHz é produzida por um sistema de alta precisão. Todos os satélites da constelação transmitem continuamente na mesma frequência. No Quadro 2 observam-se algumas características dos sinais emitidos pelos satélites GPS.

QUADRO 2 - ESTRUTURA DOS SINAIS GPS

Frequência Fundamental (f_0)		10,23 MHz
Portadora L_1	Sinal	$154 \times 10,23$ MHz
	Frequência	1575,42 MHz
	Comprimento de onda (λ)	19,05 cm
Portadora L_2	Sinal	$120 \times 10,23$ MHz
	Frequência	1227,60 MHz
	Comprimento de onda (λ)	24,45 cm
Código P	Frequência	10,23 MHz
	Comprimento de onda (λ)	29,31 m
	Período de repetição	266,4 dias
Código C/A	Frequência	$f_0/10 = 1,023$ MHz
	Comprimento de onda (λ)	293,10 m
	Período de repetição	1 milissegundo
Mensagem de Navegação	Frequência	50×10^{-6} MHz
	Número total de bits	37.500 bps
	Tempo total de transmissão	12,5 minutos
	Período de repetição	30 segundos

FONTE: Adaptada de (SEEBER, 1993, p. 217)

O sistema de tempo GPS teve origem às 24 horas de 05 de janeiro de 1980 (sábado para domingo), esta é também a origem da contagem das semanas GPS, que iniciam em 0 (zero). O tempo GPS é expresso em termos do “Contador Z” (*Z – count*) o qual varia de 0 a 403199, repetindo-se a cada semana um novo ciclo de contagens “Z”, sendo que a unidade do contador “Z” é 1,5s. Em sua origem (1980), o tempo GPS coincidia com o Tempo Universal Coordenado (TUC), entretanto o tempo GPS não é corrigido de segundos bissextos como no TUC, existe entre eles um número inteiro de segundos. O conhecimento dessa diferença de tempo é necessário para a aquisição da hora através dos satélites GPS. Detalhes sobre o sistema de tempo GPS são apresentados em (ANDRADE, 1988).

Segundo GARNÉS, (2001, p. 35), a escala de tempo GPS é constante ao passo que o TUC sofre correções periódicas, desta forma, a seguinte relação deve ser mantida:

$$|TUC - TU_1| \leq 0,9s \quad (01)$$

Onde:

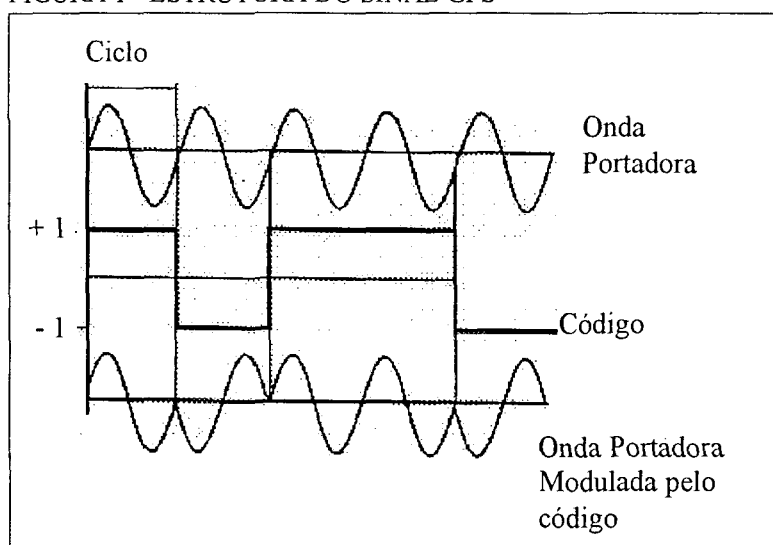
TU₁: tempo universal corrigido do movimento do pólo.

Manter a diferença da equação (01) é uma das responsabilidades do *International Earth Rotation Service* (IERS).

A portadora L₁ é modulada por dois tipos de códigos, o código P - (*Precise*) e o código C/A - (*Course Aquisition*); enquanto que a portadora L₂ apenas com o código P (elas carregam a mensagem de navegação). O código C/A é uma seqüência com o estado +1 ou -1, correspondendo valores binários 0 ou 1, e são chamados de modulação bifase por alterar em 180° a fase da portadora (HOFMANN, et al., 2001, p. 73). A seqüência é gerada por um algoritmo que se repete a cada 1 milissegundo. O código P se repete a cada 266,4 dias sendo que este período (de 266,4 dias) é subdividido em segmentos de 7 dias desse código, ou seja, uma semana das 38 possíveis, sendo atribuída a cada satélite a seqüência de código para um segmento. Isto dá origem ao sistema de identificação dos satélites que utiliza o número do segmento do código PRN. Os usuários do serviço *Standard Positioning Service* (SPS), comunidade civil de uma forma geral, recebem os dados GPS como são transmitidos,

com todos os tipos de degradações (IBGE, 1998, p. 24). O código Y é uma codificação do código P sendo este a efetivação da técnica *Anti-Spoofing* (AS), que desde 31/01/1994 encontra-se ativada, não estando disponível para os usuários civis. Este código contém partes inalteradas do código P. Os usuários do serviço *Precise Positioning Service* (PPS), militares americanos e os que possuem autorização, tem acesso aos dados dos relógios dos satélites não adulterados, às correções das efemérides transmitidas e ao código P decriptografado. Cada satélite transmite sua própria mensagem de navegação tornando possível determinar as distâncias satélite-receptor. A Figura 1 ilustra a estrutura dos sinais GPS.

FIGURA 1 - ESTRUTURA DO SINAL GPS

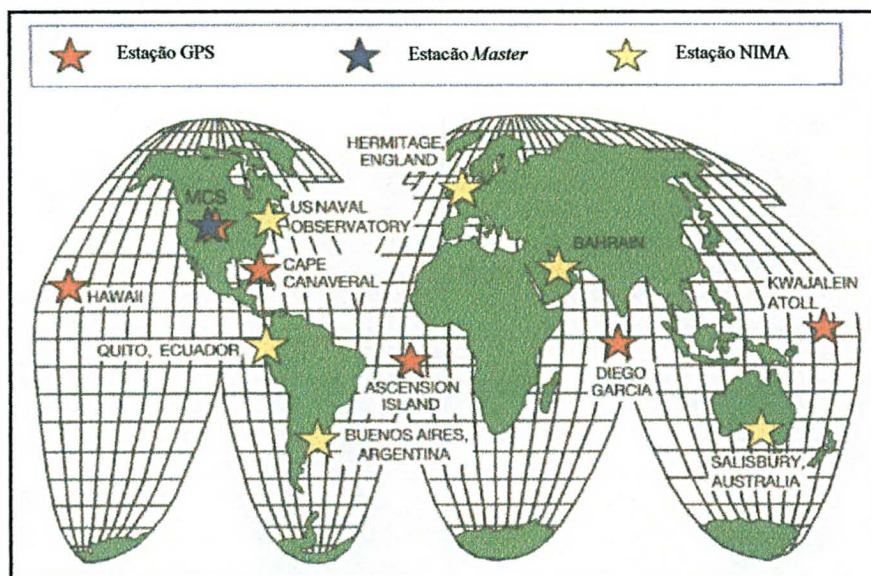


FONTE: Adaptada de (HOFMANN, et al., 2001, p. 73)

A mensagem de navegação (efemérides) é composta por informações: do código C/A e P; de navegação dos satélites; relativas a componente tempo; das fases das portadoras e ainda os dados dos sinais e o almanaque GPS (a partir destas é possível executar um planejamento de observações com a finalidade de obter dados a partir de uma boa geometria dos satélites). Esta definição é muito importante para a melhoria da precisão dos resultados (SEGANTINE, 1996, p. 19). Mais detalhes a respeito das mensagens de navegação podem ser encontradas em SEEBER (1993) e LEICK (1995).

Segmento de Controle: De acordo com SEEGER (1993, p. 213) as principais tarefas do segmento de controle são: monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites, determinar o sistema de tempo GPS, prever as efemérides dos satélites e o comportamento dos relógios dos satélites, atualizar periodicamente as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites. Para o alcance deste objetivo, o segmento de controle possui estações de monitoramento distribuídas pelos continentes (Ilha de Ascension no oceano Atlântico, Colorado Springs nos Estados Unidos, Diego Garcia no oceano Índico, Kwajalein no oceano Pacífico e Hawaii). Segundo MONICO (2000, p. 33), essas cinco estações de monitoramento pertencem à *American Air Force* (AAF), em conjunto com as sete do *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), as quais compõem as estações monitoras GPS do DoD. Segundo CUNNINGHAM et al. (1999, p.1587-1596), estas sete estações pertencentes ao NIMA localizam-se no Equador, Argentina, Inglaterra, Bahrain, Austrália, China e USNO, conforme ilustra a Figura 2. As estações rastreiam/monitoram continuamente todos os satélites visíveis transmitindo estes dados para a estação de controle *master* (*Master Control Station*) em Colorado Springs (EUA), onde são processados com a finalidade de determinar as efemérides e as correções dos relógios dos satélites para atualização das mensagens de navegação. A mensagem atualizada é então, transferida para os satélites, por meio das antenas localizadas em Ascension, Diego Garcia e Kwajalein para que seja retransmitida aos usuários (IBGE, 1998, p. 25). Isto é realizado a cada oito horas ou pelo menos uma vez por dia, a partir daí estas correções passam a fazer parte das efemérides transmitidas pelos satélites (mensagem de navegação). As estações de controle tiveram originalmente suas coordenadas determinadas em relação ao sistema de referência WGS-72. Em janeiro de 1987 passou-se a adotar o WGS-84. O *Defense Mapping Agency* (DMA), atual NIMA, realizou o refinamento do WGS-84, culminando com as realizações denominadas WGS-84 (G730) e WGS-84 (G873). Foi nessas duas realizações que as estações de monitoramento do NIMA, passaram a fazer parte das estações do DoD. As datas em que o G730 e G873 integraram-se ao segmento de controle operacional do GPS foram 29 de junho de 1994 e 29 de janeiro de 1997, respectivamente (MONICO, 2000, p. 33).

FIGURA 2 – ESTAÇÕES MONITORAS GPS



FONTE: (GPS WORLD, 2000, p. 57)

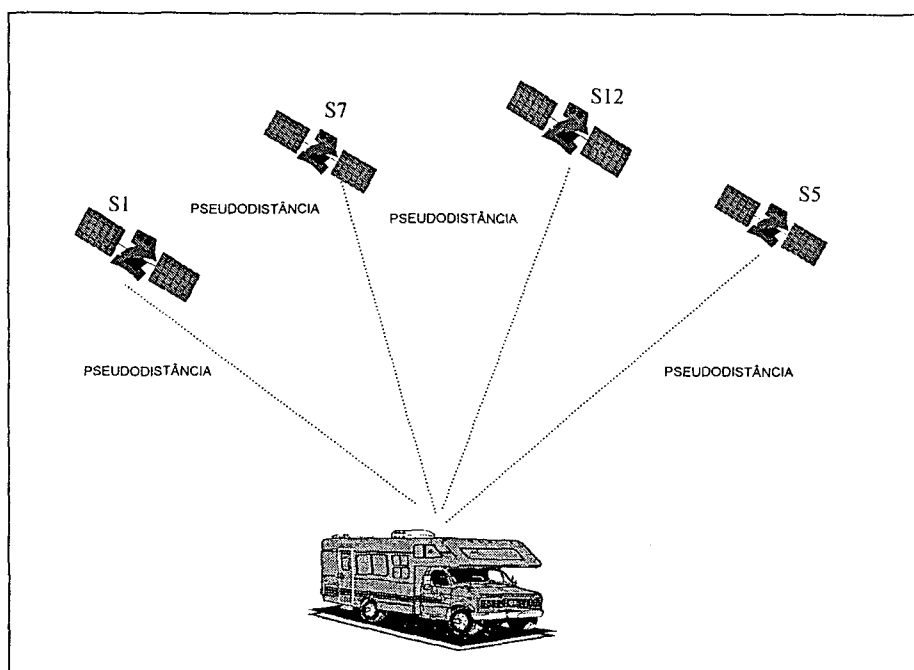
Segmento dos Usuários: Está associado às aplicações do sistema, refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária (receptores, algoritmos, *softwares*, etc.) com vistas à determinação da posição, velocidade e/ou tempo. Segundo MONICO (2000, p. 40), os receptores podem ser classificados segundo as aplicações a que se destinam em receptores de uso civil e militar; quanto às aplicações em que são destinados, para navegação, Geodésia, SIG, etc. Outra classificação baseia-se quanto ao tipo de observável utilizada, ou seja, código C/A; portadora L_1 e código C/A; código C/A e portadoras L_1 e L_2 ; códigos C/A, P (Y) e portadoras L_1 e L_2 .

2.1.1.1 Observáveis GPS

Sabe-se que o sistema GPS fornece dois tipos de observação diretamente associados à componente do sinal rastreado, as pseudodistâncias, as quais são obtidas a partir da observação dos códigos e das fases das portadoras. As pseudodistâncias oriundas das observações de código são determinadas através da multiplicação da velocidade da luz no vácuo, pelo tempo decorrido para que o código enviado pelo satélite e a réplica construída pelo receptor sejam correlacionados (PRADO, 2001, p.

13). Portanto, a observação de pelo menos 3 satélites proporciona a situação geométrica mínima para a determinação isolada das coordenadas ao receptor. Como os receptores apresentam osciladores não tão estáveis como os dos satélites, inclui-se na modelagem matemática da solução do problema uma incógnita a mais, correspondente à correlação associada ao relógio do receptor, o que eleva para 4 o mínimo de satélites necessários à determinação das coordenadas da estação e denomina-se pseudodistância a observação correspondente (Figura 3).

FIGURA 3- POSICIONAMENTO ATRAVÉS DA MEDIDA DA PSEUDODISTÂNCIA DE CADA SATÉLITE

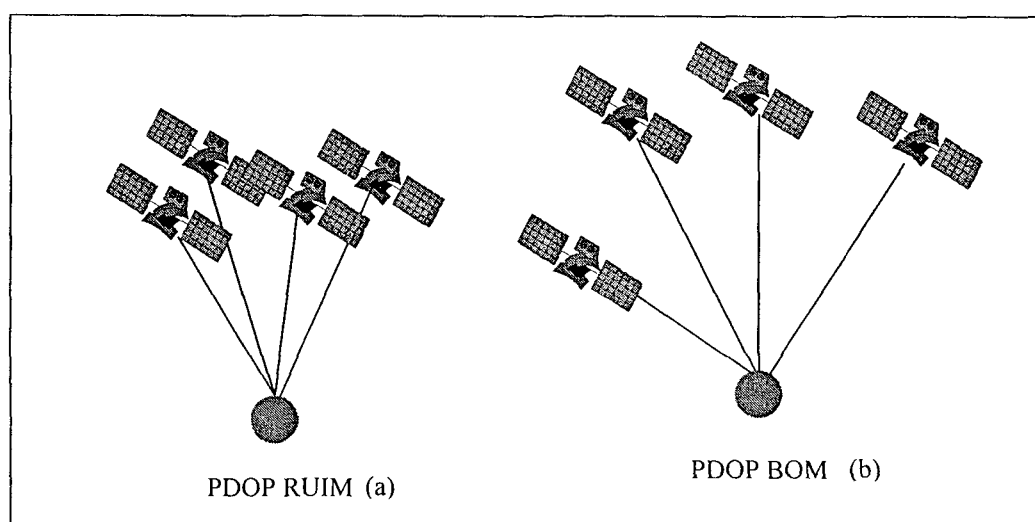


FONTE: Adaptada de (SEGANTINE, 1996, p. 68)

As aplicações que utilizam este tipo de observação são aquelas que buscam primordialmente o posicionamento absoluto. Pela geometria do problema, um fator que se reveste da maior importância no tocante à propagação de erros e conseqüentemente à qualidade das determinações, é a disposição geométrica dos satélites. Denomina-se *Dilution of Precision* (DOP) os fatores que descrevem este efeito. As seguintes designações são encontradas na literatura: HDOP (efeito da geometria dos satélites para o posicionamento horizontal), VDOP (para o posicionamento vertical), PDOP (para a posição tri-dimensional), TDOP (para o tempo) e GDOP (para a posição e para o tempo). O usuário deve estar atento aos

valores de PDOP, pois quanto maior os valores numéricos dos fatores, pior a qualidade da determinação correspondente, ou seja, maior a influência dos erros nos resultados do posicionamento. O melhor valor de PDOP ocorre, quando um satélite está posicionado na vertical que passa pelo ponto observado e os outros satélites apresentam uma boa distribuição geométrica. A Figura 4, mostra a qualidade do PDOP em função da posição dos satélites. Pode-se observar que na situação (b), os satélites estão mais distribuídos em relação à situação (a). Conclui-se que o volume em (b) é maior que o em (a), conseqüentemente, o PDOP de (b) é melhor que o de (a). Em resumo, quanto menor for o valor dos diferentes DOP, melhor a configuração dos satélites para se realizar o posicionamento.

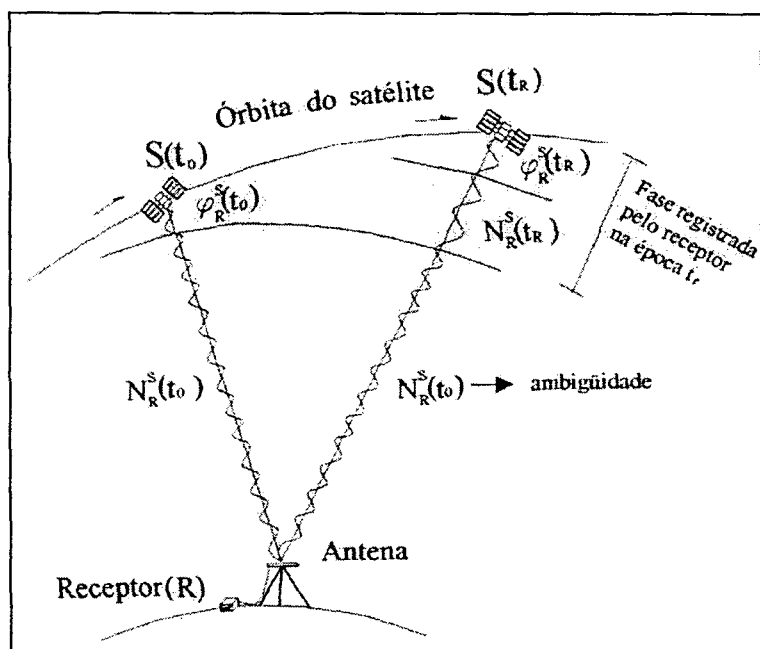
FIGURA 4 - GEOMETRIA DOS SATÉLITES E PDOP



As observações das fases das ondas portadoras, analogamente àquelas obtidas a partir dos códigos, também fornecem indiretamente a medida da distância receptor-satélite. Entretanto, neste caso específico, como o que se mede é a diferença de fase entre o sinal que chega do satélite e o gerado pelo oscilador do receptor, existe uma incógnita adicional na observação da distância, denominada de ambigüidade. Segundo GARNÉS (2001, p. 94), ela é o número inteiro de ciclos desde o centro de fase da antena do satélite, até o centro de fase da antena do receptor no instante da primeira observação (Figura 5).

Tanto as observações de código quanto às da fase das portadoras podem ser tratadas a partir de pelo menos duas estações que rastreiam simultaneamente os mesmos satélites. Esta consideração proporciona a minimização, ou até mesmo o cancelamento dos efeitos de alguns erros sistemáticos que incidem de forma semelhante em ambas às estações (por exemplo: erros das órbitas dos satélites, refração troposférica e ionosférica, etc) (IBGE, 1998, p. 26).

FIGURA 5 - AMBIGÜIDADE DE CICLOS DA FASE DA PORTADORA



FONTE: (GARNÉS, 2001, p. 2)

2.1.1.2 Técnicas de segurança e erros do sistema

Os erros que afetam as observações GPS provocam imprecisões na obtenção das coordenadas. A obtenção de melhores resultados no posicionamento GPS depende do modelamento dos erros existentes no sistema, portanto é fundamental conhecê-los, eliminá-los ou minimizá-los. Os erros são os seguintes: erros dos relógios dos satélites; dos relógios dos receptores; devido aos efeitos atmosféricos (ionosfera e troposfera); imprecisão das órbitas; efeito de multicaminho do sinal; variação do centro de fase da antena; devido ao ruído das observações. Mais detalhes sobre os erros do sistema

indica-se: HOFMANN et. al. (2001); MONICO (2000); KRUEGER (1996); SEEGER (1993) e WELLS et. al. (1986).

Os usuários do sistema GPS, apesar de contarem com a constelação completa foram afetados diretamente pela política de segurança americana. Esta se constitui na introdução de técnicas de segurança denominadas de *Selective Availability* (SA) e *Anti Spoofing* (AS). O AS consiste na criptografia do código P convertendo-o em um código secreto Y, ao qual apenas as forças armadas norte americanas tem acesso a sua seqüência. Os usuários civis não têm acesso as duas portadoras apenas a L_1 , contudo os receptores geodésicos conseguem reconstruir a portadora L_2 , dispondo de um receptor que tenha implementado o *Auxiliary Output Chips* (AOC) (KRUEGER, 1996, p. 7). A SA manifesta-se de duas formas: técnica *Épsilon* (ϵ) que consiste na manipulação dos dados das efemérides (*Broadcast Ephemerides*) e a *Dither* (ξ) que é a manipulação (desestabilização) nos osciladores dos relógios dos satélites. A partir da implementação destas degradações, o usuário civil passou a obter para um posicionamento absoluto, uma precisão horizontal de 100m e uma precisão vertical de 150m (KRUEGER, 1996, p. 7).

O presidente norte americano Bill Clinton, em pronunciamento feito no dia 1º de maio de 2000, declarou o desligamento da SA. Tal medida, segundo ele, permitiu que o sistema GPS se tornasse mais eficaz e popular. A SA ficará desligada até o ano de 2006, porém serão realizadas avaliações periódicas por parte do DoD, sobre a manutenção ou não do *status* atual (CANSPEACE, 2001). Com o desligamento da SA, os usuários passaram a ter uma precisão de aproximadamente 20m a 25m para receptores com o código C/A e 10m utilizando receptores geodésicos de dupla frequência (L_1 e L_2) (DIVIS, 2000, p. 16).

2.1.2 Métodos de Posicionamento

O GPS possibilita a determinação das coordenadas dos pontos em diferentes níveis de precisão dependendo da técnica de posicionamento utilizada, bem como do tipo de observável empregada. As estratégias de observação com o GPS podem ser classificadas inicialmente, em função do número de receptores envolvidos no levantamento. O posicionamento absoluto utiliza apenas um receptor GPS, enquanto que o posicionamento relativo terá pelo menos dois receptores envolvidos (KRUEGER, 1996, p. 10). Nestas modalidades de posicionamento tem-se a técnica de posicionamento estática, quando o objeto a ser posicionado é estacionário, e a técnica de posicionamento cinemática, quando o objeto a ser posicionado está em movimento. As Figuras 6 e 7 ilustram os métodos de posicionamento absoluto e relativo, respectivamente, com as técnicas estática e cinemática.

FIGURA 6 – MÉTODO DE POSICIONAMENTO ABSOLUTO (TÉCNICAS ESTÁTICA E CINEMÁTICA)

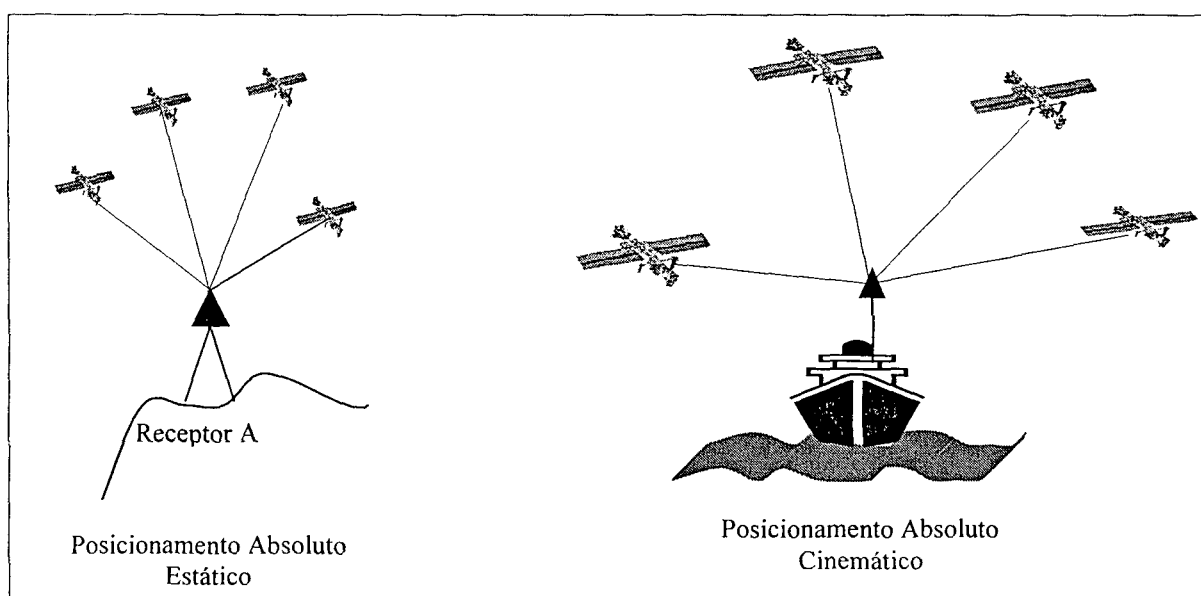
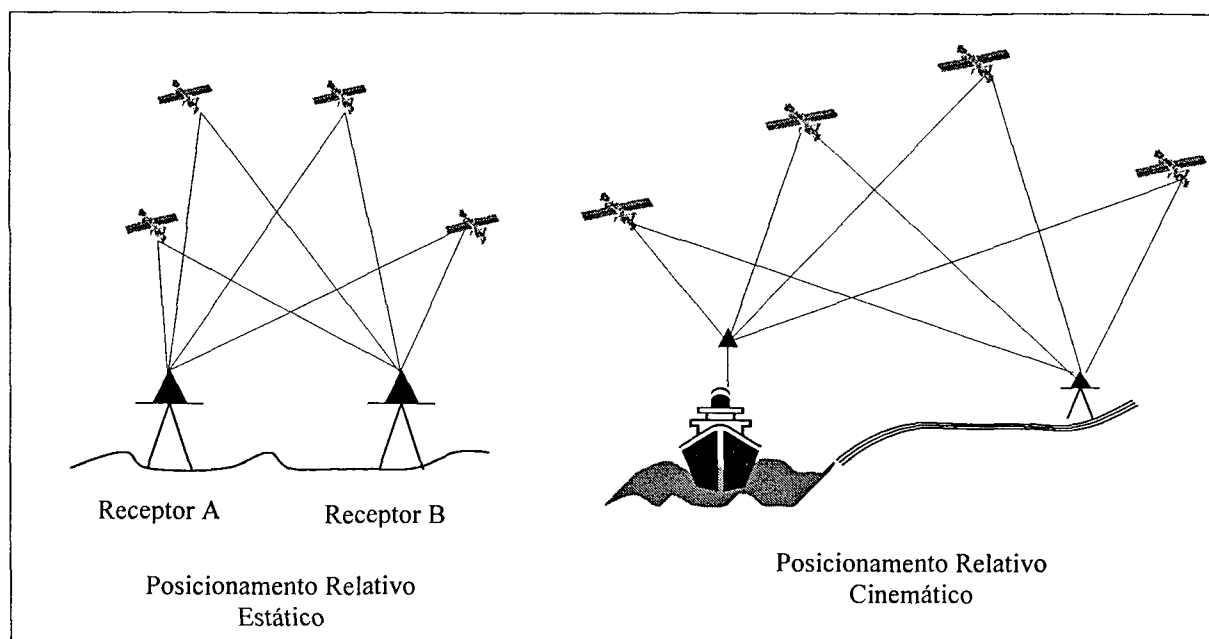


FIGURA 7 – MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO (TÉCNICAS ESTÁTICA E CINEMÁTICA)

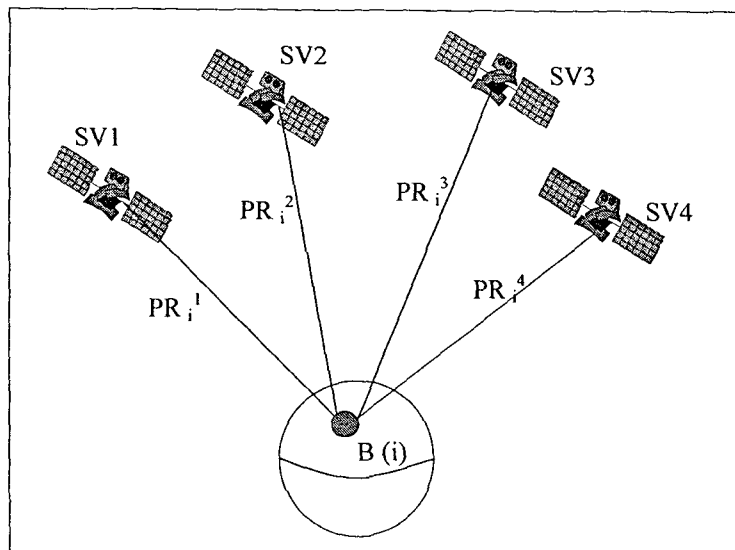


Uma terceira modalidade deve também ser considerada, ela refere-se ao método de posicionamento GPS Diferencial (HOFFMANN, et al., 2001 p. 136). A seguir descrevem-se os três métodos de posicionamento, com ênfase no método diferencial, por ser o de maior interesse no presente trabalho.

2.1.2.1 Método absoluto

O método de posicionamento absoluto caracteriza-se por usar apenas um receptor GPS (antena) para a coleta dos dados (determinação das coordenadas). Seu princípio fundamental está baseado nas medidas das pseudodistâncias como mostra a Figura 8.

FIGURA 8 - MÉTODO ABSOLUTO - PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR PONTO COM AS PSEUDODISTÂNCIAS



FONTE: Adaptada de (SEEBER, 1993, p. 249)

Com o código C/A o usuário estará operando no nível de precisão do SPS, alcançando precisões da ordem de 100 e 150m em 95% dos casos para posicionamento horizontal e vertical, considerando as degradações decorrentes da SA (BRIONES, 1999, p. 14). Com a desativação da SA esta precisão passou a ser da ordem de 20 a 25m para estes posicionamentos, padrões coerentes com o PPS. Para o tratamento dos dados a pseudodistância deve ser corrigida dos erros de sincronismo entre os relógios do receptor e do satélite e dos erros referentes à atmosfera (ionosfera e troposfera). Nesta etapa, a geometria dos satélites tem um papel muito importante, pois influem na precisão alcançada (SANTOS, 1999, p. 24).

A precisão no posicionamento absoluto pode ser melhorada com um maior tempo de observação, este tipo de posicionamento pode ser realizado no modo estático ou cinemático, e o resultado é uma navegação, independentemente de haver ou não movimento. A maior aplicabilidade deste posicionamento é no apoio à navegação, devido às precisões alcançadas, não é um posicionamento satisfatório na geodésia e na confecção de bases cartográficas de grande escala ou em trabalhos que exijam alta precisão.

A equação fundamental de observação para uma pseudodistância é formulada por:

$$PR_i^j = |R_i^j| + c \cdot \delta t_i = c \tau_i^j \quad (2)$$

com:

$$|R_i^j| = |X^j - X_B| = ((X^j - X_B)^2 + (Y^j - Y_B)^2 + (Z^j - Z_B)^2)^{1/2} \quad (3)$$

onde:

PR_i^j : pseudodistância (distância da antena do receptor i (em B) ao satélite j (S^j));

R_i^j : distância geométrica ou raio vetor entre a antena do satélite j e a antena do receptor posicionada em B;

X^j : vetor de posição do satélite (X^j, Y^j, Z^j);

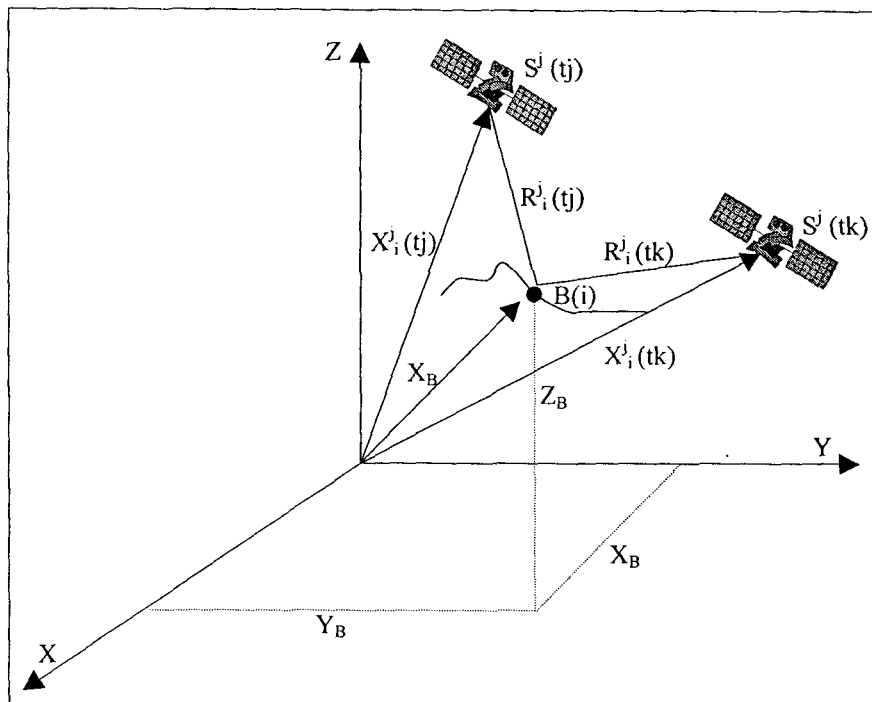
X_B : vetor de posição da antena do receptor i posicionada em B (X_B, Y_B, Z_B);

c : velocidade de propagação da luz no vácuo;

τ_i^j : tempo de propagação do sinal entre a antena do satélite j e a antena do receptor (em B).

A Figura 9 ilustra a apresentação geométrica para a determinação da posição de um ponto com o GPS.

FIGURA 9 – APRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA PARA A DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DE UM PONTO COM O GPS



FONTE: Adaptada de (KRUEGER, 1996, p. 12)

A equação completa de observação para uma época de observação genérica t é formulada por:

$$PR_i^j(t) = |R_i^j(t)| + c \cdot \delta t_i(t) + c \cdot \delta t^j(t) + c \cdot \delta T_i^j(t) + \varepsilon_i^j \quad (4)$$

onde:

t : época de observação;

δt^j : erro de sincronismo do relógio do satélite j ;

δt_i : erro de sincronismo do relógio do receptor i (situado em B);

δT_i^j : erro de propagação do sinal entre a antena do receptor i (ponto B) e a antena do satélite j (S_j) na atmosfera;

ε_i^j : demais erros existentes (ruído do receptor, efeito multicaminho, variação do centro de fase da antena).

Cada grupo de pseudodistâncias (no mínimo 4) entre o receptor e o satélite, a partir das informações aproximadas da posição do observador, assim como do erro de sincronismo do relógio do receptor, fornece uma atualização das coordenadas procuradas da antena. Tem-se um conjunto de observações, as quais geram um sistema

de equações que resolvido pelo método paramétrico, resultam nas coordenadas do observador. (KRUEGER, 1996, p. 14). Mais informações podem ser obtidas em: GEMAEL (1994); HOFMANN et. al. (2001).

Da equação (4), pode-se derivar de medidas do código e ou da fase da portadora, nesse último, ela é acrescida do termo das ambigüidades (incógnita correspondente ao número inteiro de ciclos, formado entre o instante de transmissão e da recepção do sinal). Aplicando-se a equação (4) para um posicionamento relativo, obtêm-se a equação (5), que representa a diferença da pseudodistância para uma observação simultânea de um satélite j a partir de duas estações i e k em uma época t .

$$\Delta PR_{i,k}^j(t) = \Delta |R^j(t)|_{i,k} + c \cdot \Delta \delta t_{i,k}(t) + c \cdot \Delta \delta T_{i,k}^j(t) + \Delta \epsilon_{i,k}^j \quad (5)$$

com:

$$\Delta |R^j(t)|_{i,k} = |R_k^j(t)| - |R_i^j(t)| \quad (6)$$

onde:

$\Delta PR_{i,k}^j$: diferença entre as pseudodistâncias calculadas à partir de observações simultâneas das estações i e k do satélite j ;

Dessa forma, as coordenadas tridimensionais bem como o estado do relógio do receptor com relação ao tempo GPS ficam determinados. Acrescentando o termo N (ambigüidade) para fase da portadora tem-se:

$$\Delta PR_{i,k}^j(t) = \Delta |R^j(t)|_{i,k} + c \cdot \Delta \delta t_{i,k}(t) + c \cdot \Delta \delta T_{i,k}^j(t) + \Delta \epsilon_{i,k}^j + \lambda \Delta N_{i,k}^j \quad (7)$$

2.1.2.2 Método relativo

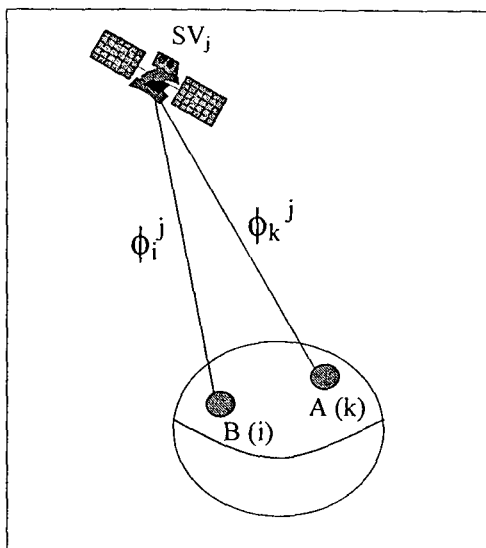
O método de posicionamento relativo caracteriza-se por envolver dois ou mais receptores num levantamento, sendo que um deles permanece fixo em uma estação de coordenadas conhecidas e os outros ocupam os pontos de interesse (estação de coordenadas desconhecidas), observando simultaneamente os sinais dos satélites. Com

esse método é possível obter precisões centimétricas ou melhores com o pós-processamento dos dados.

Para distâncias curtas de 10 a 15km, o comportamento dos erros sistemáticos referentes aos relógios dos satélites, das efemérides e da propagação do sinal na atmosfera, afetam quase que igualmente as duas estações, podendo ser eliminados ou atenuados através das técnicas de diferenciação. Porém, na medida em que os receptores se afastam, o processo de eliminação dos erros sistemáticos se deteriora em virtude da menor semelhança destes erros nas respectivas estações (SANTOS, 1999, p. 25). O posicionamento fornece os vetores que unem a estação base às demais estações a serem posicionadas, normalmente estes vetores são denominados de linhas de base. Empregando observações de fase das portadoras, podem-se alcançar níveis de precisão para levantamentos geodésicos e geodinâmicos.

Neste posicionamento diferentes tipos de observações podem ser empregadas: código, código suavizado pela portadora e fase da portadora. A escolha da observável está diretamente relacionada com as características do receptor GPS disponível e com as precisões que o usuário deseja atingir. A qualidade do posicionamento relativo será totalmente dependente do comprimento da linha de base, do tempo de observação das seções, da geometria dos satélites no período de observação e das observáveis empregadas. A Figura 10 ilustra a medida da fase da portadora.

FIGURA 10 - ILUSTRAÇÃO PARA A MEDIDA DA FASE DA PORTADORA



FONTE: Adaptada de (SEEBER, 1993, p. 249)

Quanto ao movimento da antena das estações onde se deseja determinar as coordenadas tem-se: posicionamentos estático (quando o objeto a ser posicionado é estacionário) e cinemático (quando o objeto a ser posicionado está em movimento), (seção 2.1.2). Dentro do posicionamento estático podem-se citar as técnicas estática e estática rápida e no posicionamento cinemático as técnicas cinemática contínua, pseudocinemática e *stop and go*. Mais detalhes sobre as técnicas citadas indica-se: CARVALHO (1999); CRIOLLO (1993); KRUEGER (1994); SEEBER (1993).

O Quadro 3 fornece as recomendações para a utilização dos métodos de posicionamento relativo estático e estático rápido.

QUADRO 3- RECOMENDAÇÕES PARA O POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E ESTÁTICO RÁPIDO

Técnicas	Comprimento da Linha de Base	Duração do Levantamento	Precisão (1σ) Linha de base; Altitude (2σ)
Estático (posic. relativo)	> 10 km	>1 h (≥ 4 svcs)	1,5 a 5 mm + 0,01 à 1 ppm
Fase da portadora/dupla frequência	entre 20 e 40 km	6 a 24 h (≥ 4 svcs)	1,5 a 5 mm + 0,01 à 1 ppm
Estático rápido	< 5 km	5 a 8 min (≥ 5 svcs e GDOP ≤ 6)	5 a 20 mm + 1 ppm
Fase da portadora/dupla frequência	< 15 km	8 a 20 min (≥ 5 svcs e GDOP ≤ 6)	5 a 20 mm + 1 ppm

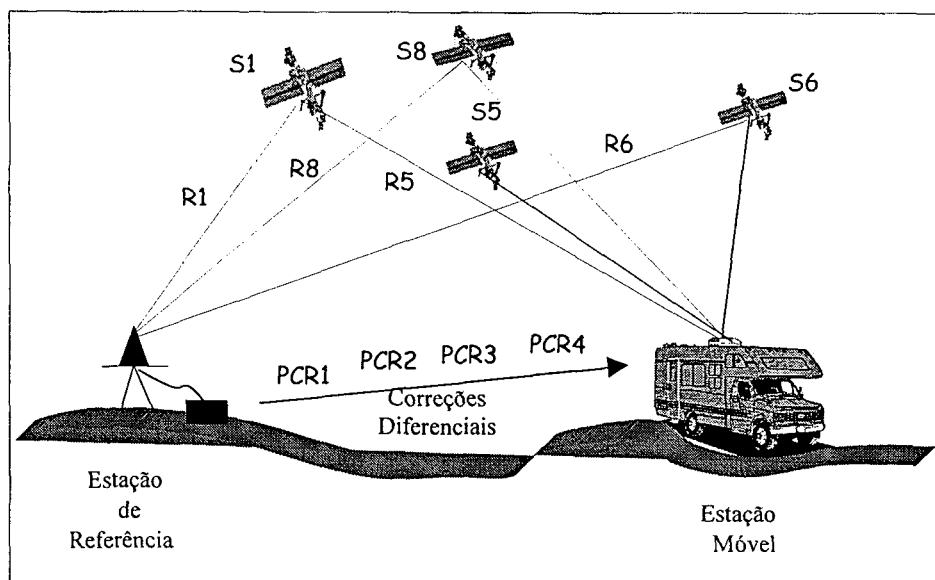
FONTE: Adaptada de (KAHMEN, 1997, p. 571)

2.1.2.3 Método diferencial

Este método tem como princípio básico o posicionamento de uma estação móvel (itinerante) através das correções geradas numa estação de referência (fixa com coordenadas conhecidas), sendo estas correções diferenciais utilizadas pela estação móvel no processo de cálculo de sua posição em tempo real. A ocupação de uma estação de coordenadas conhecidas (estação de referência) possibilitará a quantificação dos erros inerentes ao posicionamento absoluto.

A Figura 11 ilustra o princípio básico do método GPS Diferencial. Verifica-se que, para realizar um levantamento com o método diferencial faz-se necessário empregar, assim como no método relativo, simultaneamente pelo menos dois receptores. Posiciona-se um deles sobre um ponto de coordenadas conhecidas, o qual representa a estação onde as correções são geradas. Elas referem-se às correções das posições ou das pseudodistâncias. Segundo KRUEGER (1996, p. 52) utilizam-se estas últimas por serem elas mais flexíveis, havendo necessidade apenas da constelação GPS da estação móvel ser uma subconstelação da estação de referência. Desta forma, essas correções não têm um compromisso direto com a constelação observada como um todo, mas sim com cada satélite isoladamente. Sendo assim, não há necessidade de as constelações serem idênticas em ambas às estações, bastando tão somente que haja um mínimo de 4 satélites comuns às duas. Apesar de o esforço computacional ser maior, o uso destas correções é compensado por uma maior flexibilidade e acurácia, se comparadas com as correções de posição (HOFMANN et al., 2001, p. 137).

FIGURA 11 - MÉTODO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL



FONTE: Adaptada de (BRIONES, 1999, p. 16)

Segundo SEEBER (1993, p. 342) apud BRIONES (1999, p. 17) as correções de posição, por sua vez, necessitam que o conjunto de satélites empregado pela estação de referência na geração das correções seja o mesmo empregado pela estação móvel. Caso contrário, podem ser introduzidos erros sistemáticos que, quando sob presença da SA, podem ultrapassar 10m. As correções consistem na diferença entre as pseudodistâncias verdadeiras e as calculadas para cada um dos satélites na estação de referência. O Quadro 4 mostra quais são as precisões horizontais alcançadas no GPS diferencial em função da observável empregada e do comprimento da linha de base. Ressalta-se que o autor não menciona o nível de confiabilidade dos valores citados.

QUADRO 4 – PRECISÕES HORIZONTAIS NO MÉTODO GPS DIFERENCIAL

Tipos de Observação	Comprimento da Linha de Base (km)	Precisões (m)
Código	10	4 - 8
	500	5 - 10
Código Suavizado	10	0,3 - 3
	500	4 - 7
Fase da Portadora	10	0,03 - 0,2

FONTE: (BRIONES, 1999, p. 28)

As correções diferenciais são enviadas em tempo real por meio de um enlace (*link*) como, por exemplo: rádio de transmissão, satélites de comunicação ou linha telefônica e dentro de um formato apropriado, definido pelo *Radio Technical Committee for Maritime Service* (RTCM) (KRUEGER, 1996, p. 74). Este protocolo foi desenvolvido com o intuito de desenvolver recomendações padrão para serem usadas entre o receptor fixo e o móvel.

No método de posicionamento diferencial podem-se considerar algumas técnicas de posicionamento, o *Differential GPS* (DGPS), o *Wide Área DGPS* (WADGPS), o *Real Time Kinematic* (RTK) e o *Precise Differential GPS* (PDGPS). As diferenças principais entre estas técnicas referem-se ao tipo de observável empregada e ao número de estações de referência. O DGPS e o WADGPS utilizam como observável básica o código e/ou o código suavizado pela portadora, enquanto que o RTK e o PDGPS utilizam a fase da portadora (LANGLEY, 1995, p. 71); (KRUEGER, 1996, p. 52-59); (HOFMANN, et al. 2001, p. 186).

Nas técnicas PDGPS e WADGPS, aplicam-se o conceito de redes no que se refere às estações de referência (no mínimo duas estações). Desta forma possuem área de cobertura regional e continental respectivamente, os dados transmitidos são os dados brutos e as correções diferenciais. No caso das técnicas DGPS e RTK a cobertura é local.

O método diferencial tem se notabilizado nas mais diversas áreas de aplicação, dentre elas: na navegação de precisão, nos levantamentos batimétricos e topográficos, no controle e no roteamento de frotas e aerofotogrametria e também no posicionamento de estruturas voltadas à exploração e produção de petróleo. Uma vez que para estes casos as posições são requeridas com alta confiabilidade tendo em vista os riscos e custos inerentes e envolvidos nestas atividades (PRADO, 2001, p. 28).

O Quadro 5 resume as principais características e precisões alcançadas com as técnicas do método diferencial

QUADRO 5 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E PRECISÕES DAS TÉCNICAS DO MÉTODO DIFERENCIAL

	Técnicas			
PARÂMETROS	WADGPS	PDGPS	RTK	DGPS
Observável	Código ou código suavizado pela portadora	Fase da portadora	Fase da portadora	Código ou código suavizado pela portadora
Estações de Referência	Rede	Rede	Local	Local
Área de Cobertura	Continental	Regional	Local	Local
Resolução das Ambigüidades	Não	Sim	Sim	Não/Sim
Dados Transmitidos	Correções diferenciais	Dados brutos ou correções diferenciais	Dados brutos ou correções diferenciais	Correções diferenciais
Precisão Horizontal	m	cm - dm	cm - dm	dm - m

FONTE: (PRADO, 2001, p. 29)

Mais detalhes sobre as precisões envolvidas nas técnicas diferenciais, bem como a velocidade dos processadores matemáticos (responsáveis pelo cálculo das pseudodistâncias brutas de código e fase, das correções diferenciais e pela resolução das ambigüidades) podem ser encontrados em: (GAO et al., 1997, p. 1305); (FFOULKES-JONES e CONSADIER, 1995, p. 1499); (WÜBBENA et al., 1996, p. 1849 - 1850); (EL-MOWAFY, 2000, p. 50).

a) Particularidades da Técnica PDGPS

Algumas aplicações geodésicas e/ou cartográficas (por exemplo em levantamentos hidrográficos) exigem muitas vezes a determinação dos pontos de interesse em tempo real. Com o uso potencial da fase da portadora nos levantamentos GPS (início de 1980), novas técnicas de posicionamento foram desenvolvidas com intuito de otimizar a coleta dos dados em campo. Com o desenvolvimento computacional, algoritmos robustos foram criados de forma a recuperar as perdas de ciclo e as ambigüidades inteiras, um exemplo é a *On the fly* (OTF), melhorando a qualidade das observações em levantamentos cinemáticos, pois nestes levantamentos as ambigüidades eram determinadas por meio de uma inicialização estática

(CARVALHO, 1999, p. 39). O usuário deveria sempre ocupar um ponto de coordenadas conhecidas quando houvesse o *cicle slip* (perda de ciclo) para recuperar as ambigüidades inteiras (N).

Tendo em vista estes aspectos (emprego da fase da portadora como observável e também os algoritmos para resolução das ambigüidades), nas últimas décadas, algumas técnicas de posicionamento em tempo real empregando esses critérios tornaram-se realizáveis dentre elas o PDGPS (a qual utiliza as medidas da fase da portadora em tempo real), como citado anteriormente.

Segundo LANGLEY (1995, p. 76), a precisão nas técnicas diferenciais está intimamente ligada à resolução das ambigüidades. Desta forma, receptores geodésicos de dupla frequência são preferidos com relação aos de monofrequência. El-MOWAFY (2000, p. 48) diz que os receptores GPS capazes de rastrear apenas a portadora L_1 normalmente permitem uma solução *float* (a ambigüidade é representada por um valor real) acarretando em uma precisão posicional decimétrica.

Segundo KRUEGER (1996, p. 55-71) o PDGPS permite atingir uma precisão subdecimétrica, ou melhor que esta, visto que a fase da portadora possui pouco ruído (de 0,5 a 5mm). O principal problema do PDGPS consiste na comunicação dos dados, pois a transmissão e o alcance dependem da distância entre as estações. Também o efeito da ionosfera, que é problemático quando se está na época e na região de maior influência, deve ser considerado. Neste sistema utiliza-se o formato RTCM 2.1 e RTCM 2.2 para a transmissão dos dados.

As estações de referência no PDGPS consistem em uma rede de estações de referência. Dentre as estações que formam esta rede e utilizam o programa GNREF/GNRT-K/GNNET, uma será considerada como “principal” ou seja, ela terá a responsabilidade de receber as correções diferenciais das outras estações integrantes da rede e calcular o parâmetro de correção de superfície (FKP), modelando matematicamente os erros na área do levantamento. Posteriormente, novas correções diferenciais são geradas e enviadas as estações móveis. Na estação móvel os dados brutos são combinados com as informações diferenciais provenientes da estação de

referência. Mais detalhes sobre o PDGPS consultar: (KRUEGER, 2001); (WÜBBENA et. al., 1996).

2.1.2.4 Transmissão das correções diferenciais

A transmissão das correções diferenciais, desde a estação de referência até a estação móvel, é realizada através de algum enlace (*link*) que seja capaz de transmitir dados de forma confiável e contínua, a uma taxa de pelo menos 50 bps (bits por segundo), conforme preconizado pela RTCM SC-104.

Em novembro de 1983, devido a solicitação do *Institute of Navigation* (ION), a RTCM estabeleceu o Comitê Especial 104, designado RTCM SC-104, ele teve como propósito desenvolver recomendações sobre os padrões de transmissão de correções diferenciais para usuários do GPS e definir os enlaces diferenciais. (KRUEGER, 1996, p. 94 apud BRIONES, 1999, p. 29).

Alguns aspectos devem ser considerados na escolha do tipo de enlace. Altas frequências provem melhor solução em consequência maior precisão, possibilitando o uso de maiores taxas de transmissão de dados e apresentam menores custos, porém tem alcances limitados em relação às frequências baixas. A precisão depende diretamente da distância entre as estações transmissora e a receptora (BRIONES, 1999, p. 20); (KRUEGER, 1994, p. 74).

As recomendações e critérios fazem com que os usuários do sistema Diferencial obtenham um canal amplamente robusto para as correções. Em 1985 a RTCM 1.0 foi publicada, após experiências operacionais e a constatação de novas necessidades, a comissão realizou modificações para o formato dos dados e estrutura das mensagens, obtendo a versão RTCM 2.0 publicada em 1990. Nesta versão, constam correções para as pseudodistâncias e a taxa de transferência das observações aos códigos e também às coordenadas da estação de referência, informações sobre a constelação de satélites e a disposição da transferência dos dados (KRUEGER, 1996, p. 64).

Com o surgimento dos algoritmos de resolução rápida da ambigüidade a utilização da fase da portadora nos levantamentos cinemáticos em tempo real tornaram-se viáveis. Desta forma, houve a necessidade de adicionar novas informações referentes às correções da fase da portadora L_1 e L_2 a RTCM 2.0, formando a RTCM 2.1 (RTCM, 1994, p. i). Como as aplicações advindas do uso potencial do GLONASS são as mesmas do GPS, parte da comunidade usuária adotou-o como um sistema de posicionamento na prática. Com o intuito de atingir todos estes usuários o Comitê SC-104 publicou em 1998 a RTCM 2.2.

A empresa Geo++ (Alemanha) desenvolveu a chamada RTCM++, uma ampliação das versões RTCM 2.0, 2.1 e 2.2. Neste formato as correções da fase da portadora estão compactadas. Com esta redução, a versão ++ apresenta a vantagem de possibilitar a transmissão destas correções da fase da portadora por diferentes frequências (KRUEGER, 1996, p. 71).

As mensagens RTCM possuem uma identificação única de 1 a 64 e são enquadradas dentro de 3 condições: fixa, tentativa e reservada (Quadro 6). As mensagens fixas estão sujeitas a mudanças, se por alguma razão se mostrarem inadequadas serão definidas novas mensagens para acomodar novas situações. As tentativas são aquelas que em função das experiências de campo, poderão transformar-se em fixas no futuro. As reservadas têm um propósito específico, mas o conteúdo delas ainda não foi definido (RTCM, 1994, p 1-1 e 4-1).

QUADRO 6 - TIPOS DE MENSAGENS RTCM

Tipo de Mensagem	Condição Atual	Comentário
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Correções Diferenciais GPS Delta
3	Fixa	Parâmetros da estação de referência
4	Tentativa	Datum da estação de referência
5	Fixa	Saúde da constelação
6	Fixa	Mensagem nula
7	Fixa	Almanaque dos radiofaróis
8	Tentativa	Almanaque das estações pseudolite
9	Fixa	Correções Diferenciais de um conjunto parcial de satélites
10	Reservada	Correções Diferenciais para o código P
11	Reservada	Correções Diferenciais (código C/A, L1 e L2)
12	Reservada	Parâmetros das estações pseudolite
13	Tentativa	Parâmetros da estação de transmissão
14	Tentativa	Tempo da semana GPS
15	Tentativa	Ionosfera e Troposfera
16	Fixa	Mensagem especial
17	Tentativa	Almanaque das efemérides dos satélites
18	Fixa	Medidas brutas da fase da portadora - RTK
19	Fixa	Medidas brutas de pseudodistância - RTK
20	Tentativa	Correções RTK de fase da portadora
21	Tentativa	Correções RTK de pseudodistância
22	Tentativa	Parâmetros da estação de referência GPS
23-30		Indefinida
31 até 36	Tentativa	Informações satélites GLONASS
38 - 58		Indefinida
59	Fixa	Mensagem do operador da estação
60 - 63	Reservada	Uso geral

FONTE: (RTCM, 1998, p. 4-6)

A seguir apresentar-se-á mais detalhadamente algumas mensagens citadas no Quadro 6.

Mensagem Tipo 1: Correções Diferenciais GPS

Essa mensagem fornece as correções das pseudodistâncias e a sua taxa de variação para os usuários do sistema GPS em um instante t qualquer, sendo apresentado através da seguinte equação:

$$PRC(t) = PRC(t_0) + [RRC \cdot (t - t_0)] \quad (8)$$

onde:

$PRC(t)$: correções das pseudodistâncias no tempo t ;

$PRC(t_0)$: correções das pseudodistâncias no tempo t_0 ;

RRC : taxa de variação das correções da pseudodistância.

A correção de uma pseudodistância corrigida num tempo t é dada por:

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (9)$$

onde:

PR (t): é a pseudodistância corrigida para um tempo t;

PRM (t): é a pseudodistância medida para um tempo t.

Essa mensagem fornece o erro diferencial de distância – *User Equivalent Error* (UDRE), dá uma estimativa (1σ) do desvio padrão de incerteza na correção das pseudodistâncias para a estação de referência, a idade dos dados – *Issue Of Data* (IOD) que é a comparação que a estação móvel faz com o atual IOD presente na mensagem de navegação GPS. Esta comparação assegura que os receptores fixo e móvel utilizem o mesmo conjunto de parâmetros orbitais e do relógio (RTCM v 2.2, 1998, p. 4-10)

Mensagem Tipo 02: Correções Diferenciais GPS Delta

Essa mensagem contém as diferenças de correções das pseudodistâncias (δ PRC) e as diferenças da taxa de variação das correções (δ RRC) causada pela mudança nos dados de navegação. É aplicada em certas situações, onde o conjunto de informações (efemérides) utilizado pelo receptor móvel é mais antigo do que o da estação de referência. A estação móvel consegue detectar esta situação pela comparação do parâmetro IOD contido nas mensagens tipo 01 e de navegação GPS pela estação móvel (BRIONES, 1999, p. 35).

Na estação de referência são realizados dois cálculos para as correções das pseudodistâncias (PRC) e para a taxa de variação da correção (RRC). Logo:

$$\delta \text{ PRC} = \text{PRC (IOD velho)} - \text{PRC (IOD novo)} \quad (10)$$

$$\delta \text{ RRC} = \text{RRC (IOD velho)} - \text{RRC (IOD novo)} \quad (11)$$

Assim, a pseudodistância corrigida de código em um instante de tempo t, calculada pelas mensagens tipo 01 e 02 é dada por (RTCM v 2.2, 1998, p. 4-11):

$$\text{PRC}(t) = \text{PRC(IOD novo)} + \delta \text{ PRC (IOD velho)} + [\text{RRC (IOD novo)}] [t - t_1] + \dots + [\delta \text{ RRC (IOD velho)}] [t - t_2] \quad (12)$$

onde:

t: tempo de aplicação da correção diferencial;

t_1 : tempo de referência da mensagem tipo 01;

t_2 : tempo de referência da mensagem tipo 02.

Mensagem Tipo 03: Estação de Referência GPS

Esta mensagem contém as coordenadas da estação de referência num sistema geocêntrico, como por exemplo, o WGS-84. Caso outro sistema de referência seja utilizado, a mensagem tipo 04 deverá ser transmitida com intuito de informar aos usuários qual é o referencial das coordenadas da estação de referência.

Mensagem Tipo 18 à 21: Mensagem RTK

Foi desenvolvido um conjunto de mensagens para apoiar a técnica de posicionamento em tempo real (RTK e PDGPS). São os tipos 18, 19, 20, 21. O tipo 18 contém as medidas brutas da fase das portadoras, a mensagem 19 contém as pseudodistâncias do código. Os tipos 20 e 21 fornecem as correções da fase das portadoras e das pseudodistâncias calculadas na estação de referência, respectivamente. Segundo BRIONES (1999, p. 36) para a utilização destas 4 mensagens serão necessários enlaces que operem nas faixas de frequência VHF/UHF.

Segundo WÜBBENA et. al. (1996, p. 1847) a transmissão das mensagens tipo 20 e 21 na sua forma compactada (por exemplo padrão RTCM++) é mais eficaz que das mensagens tipo 18 e 19 (neste mesmo padrão), visto que aquelas contém um maior número de dados redundantes, permitindo uma melhor compressibilidade. As técnicas RTK e PDGPS também necessitam da transmissão das mensagens tipo 3 e 22, as quais se referem às coordenadas geocêntricas da estação de referência e as correções a serem adicionadas nestas, respectivamente.

Mensagem Tipo 22: Parâmetros da Estação de Referência GPS

Esta mensagem fornece uma maneira de se obter precisões da ordem milimétrica em aplicações cinemáticas e a altura da antena da estação de referência (RTCM v 2.2, 1998, p. 4-55). As mensagens tipo 2 e 32 fornecem as coordenadas da estação de referência num sistema geocêntrico ao nível do centímetro. A primeira palavra de dados da mensagem tipo 22 fornece as correções a serem adicionadas a cada coordenada geocêntrica. A segunda palavra fornece a altura da antena da estação de referência.

Mensagem Tipo 59: Mensagem Própria

Esta mensagem é reservada para uso privado, ou seja, as informações serão transmitidas em um formato próprio do usuário, sendo de sua responsabilidade o desenvolvimento deste padrão.

Segundo WÜBBENA et al. (1996, p. 1847) o programa computacional GNRT (seção 5.1) utiliza a mensagem 59 para armazenar as mensagens tipo 20 e 21 no seu formato compactado (padrão RTCM++) tornando-as compatível com a RTCM.

As frequências do espectro eletromagnético podem ser subdivididas em faixas, sendo que, os principais enlaces de dados diferenciais operam nas faixas LF/MF e VHF/UHF. Pode-se usar enlaces que operem em qualquer uma das faixas, porém, a escolha é função da capacidade de taxa de transmissão, alcance eficaz, da técnica de modulação utilizada e de considerações sobre infra-estrutura (LANGLEY, 1993, p. 47-51).

- a) **Faixas LF/MF:** Os sinais de LF basicamente se propagam através de ondas terrestres, as quais acompanham a curvatura terrestre, sobre superfícies líquidas atingindo 150km e sobre a terra até 100km. Os sinais MF são propagados por meio de ondas terrestres e celestes, sobre superfícies líquidas tem alcance em torno de 400km e sobre a superfície terrestre alcança até 50km. As ondas celestes têm alcance de até 2.000km conforme o grau de ionização da atmosfera. Dentro destas faixas são encontradas transmissões de rádios AM (BRIONES, 1999, p. 21).
- b) **Faixas VHF/UHF:** Nestas faixas encontram-se satélites GPS/GLONASS, alguns satélites de comunicação (por exemplo o INMARSAT), emissoras de TV, transmissões de rádios FM. Os sinais propagam-se ao longo da linha de visada entre as antenas transmissora e receptora. Desta maneira as ondas portadoras destes enlaces são muito suscetíveis a atenuações devido a existência de obstruções na “linha de visada”. Os enlaces que utilizam estas faixas (de 30 à 3.000MHz) quando comparados aos das faixas LF/MF, são mais simples e baratos, pois necessitam de menores potências e possibilitam o uso de taxas de transferência na ordem de 1.200, 2.400 ou até 9.600 bps. Suportam

adequadamente o volume de dados a ser transmitido pelo RTK e PDGPS. Os alcances são limitados a distâncias menores que 50km e são mais afetados pelo efeito do multicaminho. Para longas distâncias, podem-se utilizar estações repetidoras ou antenas direcionais para os sistemas VHF/UHF. (KRUEGER, 1996, p. 78); (BRIONES, 1999, p. 22). Para o RTK e o PDGPS, os sistemas VHF ou UHF para curtas distâncias não apresentam restrições, porém a relação atmosférica entre as estações de referência e a móvel limitará a rápida solução das ambigüidades, pressupondo uma distância de até 20km (KRUEGER, 1996, p. 80).

2.1.3 Perspectivas Futuras e Modernização do GPS

Muitas investigações tem sido realizadas com respeito à modernização do GPS visando beneficiar a comunidade usuária. A apresentação, por parte da comunidade européia de um novo sistema de posicionamento, o GALILEO (sistema aberto e global, com controle civil, completamente compatível com o GPS e provavelmente com o GLONASS, mas independente) levou ao governo norte americano a investir na modernização do GPS.

Segundo McDONALD (1999) apud MONICO (2000, p. 271), as melhorias deverão ocorrer nos segmentos principais, ou seja, no segmento de controle e no segmento espacial. No que concerne à reestruturação dos sinais, sabe-se que o código C/A passará a ser modulado também sobre a já existente portadora L_2 (que atualmente tem disponível apenas o código P) e uma nova onda portadora será implementada para este sistema denominada de L_5 , com frequência de 1.176,45MHz, será posicionada dentro do domínio do *Aeronautical Radio Navigation Services* (ARNS). Uma das vantagens quanto à adição da L_5 é a diminuição do tempo necessário para a fixação das ambigüidades inteiras. Segundo SPILKER e DIERENDONCK, (1999) apud MONICO (2000, p. 272); (McDONALD, 1999) o código civil será modulado na portadora L_5 e terá uma frequência dez vezes maior que o atual código C/A, ou seja, será de 10MHz, o que está coerente com os osciladores dos satélites, que também são

de 10MHz. O novo sinal terá duas componentes em quadratura de fase, sendo um canal para os dados de navegação e o outro para a portadora, o que proporcionará um rastreamento mais acurado da portadora e medidas de fase de batimento mais precisas. Além da reestruturação do sinal, o segmento espacial do GPS será composto por satélites dos Blocos IIR e IIF o que aumentará em muito a sua capacidade, diante da nova estrutura proposta para o sinal.

Mais detalhes sobre a modernização do sistema indica-se: (McDONALD, 1999); (MONICO, 2000); (SPILKER e DIERENDONCK, 1999).

3 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO (MDT)

A utilização de modelos numéricos, *Digital Terrain Model* (DTM) ou Modelo Digital do Terreno (MDT), para representação do terreno em computador foi iniciada na década de 50. Esta técnica consiste na representação digital da distribuição de um fenômeno espacial, que pode ser definido por uma superfície (BURROUGH, 1998, p. 121). A superfície é em geral contínua e o fenômeno representado pode ser variado. Os dados de relevo, as informações geológicas, os levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, as informações meteorológicas e os dados geofísicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MDT. Dentre alguns usos do MDT pode-se citar (BURROUGH, 1998, p. 122):

- a) armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- b) análises de corte e aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- d) apresentação tridimensional (em combinação com outras representações).

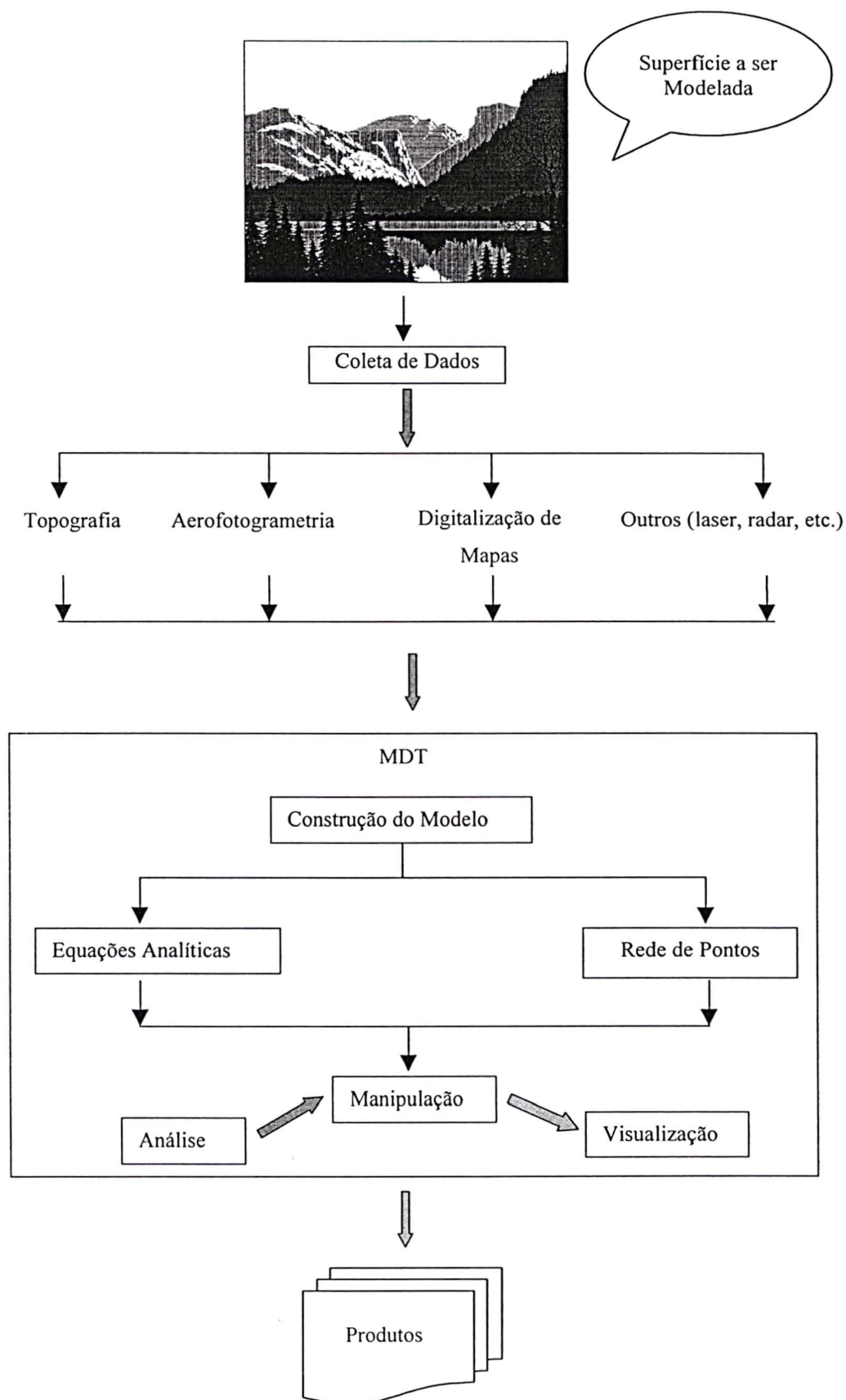
A representação do terreno se dá, através da geração de um modelo digital, podendo ser definido por equações analíticas (modelos matemáticos) ou por uma rede de pontos, também conhecida como grade. Nesta, geralmente são conhecidos um conjunto finito de pontos em termos de coordenadas X, Y, Z, e a partir destes é interpolada toda a informação relativa a uma superfície (FELGUEIRAS, 2001, p. 1). Depois de gerada a grade, o modelo estará pronto para manipulações, cálculos e edições sobre o mesmo, visualização, representação em tela ou plotagem, análises do modelo gerado e geração de subprodutos (VEIGA, 1996, p. 13). A partir dos modelos (grades) podem-se calcular diretamente volumes e áreas; desenhar perfis e secções transversais; gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza; gerar mapas de declividade e aspecto; gerar perspectivas tridimensionais e mapas de isolinhas.

A geração do MDT deve incluir as seguintes tarefas gerais (WEIBEL e HELLER, 1991, p. 269-270):

- a) amostragem: coleta de dados do terreno;
- b) modelagem: construção do modelo por equações analíticas ou rede de pontos, os quais podem ser modelos de grade regular retangular e modelos de grade irregular triangular;
- c) visualização: representação gráfica do MDT;
- d) manipulação: análise e extração de informações obtidas através do MDT.
Os procedimentos de análise executados sobre os modelos digitais, podem ser: qualitativas tais como análises visuais utilizando-se projeções geométricas planares, ou quantitativas tais como cálculos de volumes e geração de mapas de declividade;
- e) aplicação: desenvolvimento de modelos de aplicação apropriados a um uso específico.

A Figura 12 ilustra as etapas na construção e uso de um MDT.

FIGURA 12 – ETAPAS NA CONSTRUÇÃO E USO DE UM MDT



FONTE: Adaptada de (VEIGA, 1996, p.14)

Segundo MENEZES, (1992, p. 4) apud (VEIGA 1996, p. 13), a qualidade do MDT dependerá de como os dados são coletados (quantidade e distribuição dos dados amostrados), sendo que a aquisição destes é usualmente a fase que consome mais tempo e a de maior custo em relação ao processo total da modelagem. Quanto aos métodos de coleta, o autor os classifica em: levantamentos de campo (Topografia e Geodésia), aerofotogrametria e digitalização. A escolha do método de coleta a ser empregado dependerá do tamanho da área a ser modelada, da precisão que se deseja, da disponibilidade de material fonte (mapas), do tipo de aplicação a que se destina o MDT, bem como do custo do levantamento. Quanto aos equipamentos utilizados para aquisição dos dados pode-se citar: os taqueômetros eletrônicos (estações totais), os teodolitos, os níveis e receptores GPS.

Como já foi comentado anteriormente, outra forma de classificar os modelos baseia-se na distribuição espacial dos pontos fornecidos. Pode-se ter uma distribuição regular, ou seja, malhas regulares, por exemplo, quadradas ou uma distribuição irregular, aleatória, ou ainda concentrada em regiões (CINTRA, 1985, p. 18). Amostras de pontos irregularmente espaçados podem ser usadas de dois modos para gerar um MDT. O primeiro é sobrepor um *grid* regular aos pontos e então usar uma técnica de interpolação para gerar uma matriz de altitudes derivadas. As técnicas de interpolação podem também ser usadas para gerar uma matriz mais densa de altitudes a partir de uma menos densa. O segundo método é usar os dados irregularmente espaçados como a base de um sistema de triangulação (BURROUGH, 1998, p. 124); (PETTINATI, 1983, p. 6).

3.1 GRADES E INTERPOLADORES

As estruturas de dados mais comuns para gerar um MDT são as malhas regulares (matrizes de elevações, *grid* regular retangular) ou redes triangulares (*Triangulated Irregular Network (TIN)*) (VEIGA, 1996, p.18). O processo de geração de um modelo de grade compreende a construção de uma malha de pontos

tridimensionais, regular retangular ou irregular triangular, e a definição de funções interpolantes, as quais determinam a superfície representada. Assim, para cada elemento básico da grade, retângulo ou triângulo, define-se uma função interpolante que é válida para a determinação das coordenadas dos pontos internos ao elemento. Esse processo é conhecido como “ajuste de superfície”. Cada função de ajuste, geralmente um polinômio, é definida utilizando-se os vértices dos elementos, retangulares ou triangulares e em muitos casos os vértices dos elementos vizinhos (FELGUEIRAS, 2001, p. 9).

Interpolar significa prever a partir de um conjunto de observações o comportamento de uma grandeza ou variável. Para o caso de interpolação de superfícies a escolha do melhor método de interpolação a ser utilizado é difícil. Alguns critérios para avaliar os métodos de interpolação são sugeridos por (PETTINATI, 1983, p.12):

- a) precisão: refere-se a fidelidade com a qual o interpolador consegue modelar a superfície. A superfície é definida por um interpolador expressa matematicamente como, por exemplo, uma função $z = f(x,y)$. Como a superfície real não é conhecida, é necessário avaliar a precisão do método de interpolação;
- b) aspecto visual: diz respeito a precisão do interpolador utilizado. Visualmente percebe-se o comportamento da superfície através das representações em perspectiva ou curvas de isovalor;
- c) sensibilidade: o mais usual consiste em utilizar um mesmo conjunto de coordenadas, variando os parâmetros do interpolador.

Dentre os usos e vantagens em se trabalhar com matriz de altitudes é que esse tipo de estrutura de dados permite o cálculo de volumes, desenho das curvas de isovalor, cálculos da declividade e aspecto ou representações gráficas de superfícies, como por exemplo, as curvas de isovalor as quais conectam pontos de mesma altura da superfície e visualização em perspectivas, obtidas através do desenho em perspectiva do poliedro que compõe o modelo da superfície, entre outros (BURROUGH, 1998, p.122).

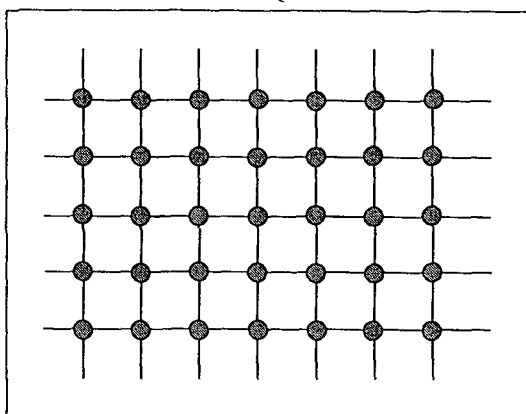
Segundo PETTINATI (1983, p. 7) na representação em perspectiva pode-se utilizar modelos compostos por poliedros de faces tanto triangulares quanto retangulares. As representações gráficas em perspectiva têm caráter qualitativo enquanto que as representações que utilizam curvas de isovalor têm caráter quantitativo.

3.1.1. Grade Retangular

A grade retangular ou regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas posições X e Y que definem a grade desejada. A malha quadrada, por ser regular e ordenada, apresenta uma série de vantagens. O armazenamento pode ser feito facilmente através de uma matriz, o cálculo e desenho de perfis e secções transversais pode ser realizado com os valores associados a linhas e colunas, o cálculo de áreas e volumes, através das células quadradas é bastante simples, a construção de perspectivas também é facilitado (CINTRA, 1988, p. 4.6). A Figura 13 ilustra uma malha quadrada. Segundo BURROUGH (1986, p. 41), o sistema de *grid* regular não deixa de apresentar desvantagens como: a grande quantidade de dados redundantes em áreas de terreno uniforme, e a incapacidade para adaptar as áreas de relevos de diferente complexidade sem a mudança do tamanho do *grid*.

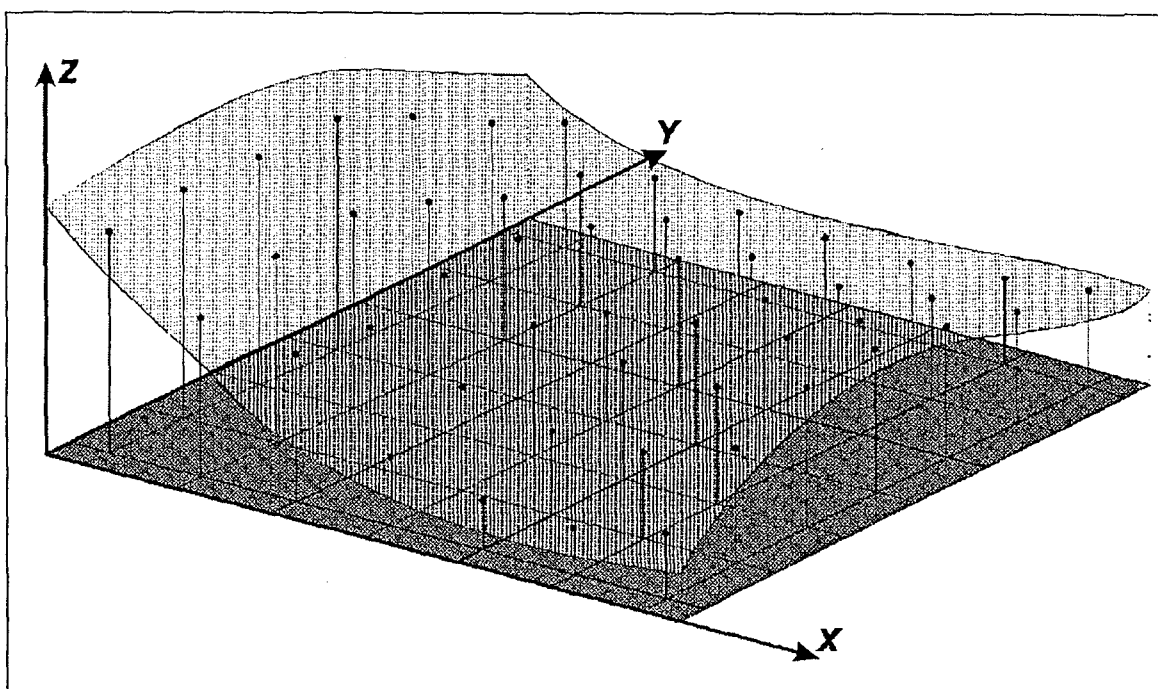
Segundo DESTRI (1987, p. 39), dois aspectos devem ser considerados na construção da grade regular. A função de interpolação a ser usada e a definição da região de interesse da função interpolante, pois uma função de interpolação, estará sempre sujeita a diversas variáveis, tais como: distribuição e densidade dos pontos adquiridos, precisão obtida na determinação dos dados e também o tipo de terreno a ser modelado. A Figura 14 ilustra uma grade retangular.

FIGURA 13 – MALHA QUADRADA



FONTE: Adaptada de (VEIGA, 1996, p. 19)

FIGURA 14 – GRADE RETANGULAR



FONTE: (INPE, 2000)

Na geração da grade regular, inicialmente são determinados os espaçamentos nas direções X e Y de forma que sejam representados os valores próximos aos pontos da grade em regiões com grande variação de altitude e que, ao mesmo tempo, reduzam redundâncias em regiões quase planas. O espaçamento da grade, ou seja, a resolução em X e Y deve ser idealmente maior ou igual a menor distância entre duas amostras com cotas diferentes (INPE, 2000).

Ao se gerar uma grade com distância entre os pontos muito pequena, existirá um maior número de informações sobre a superfície analisada necessitando maior tempo para sua geração. Ao contrário, considerando grandes distâncias entre os pontos, será criada uma grade que pode acarretar perda de informação. Portanto, para a definição sobre a resolução final da grade deve haver um compromisso entre a precisão e densidade espacial desses dados (amostras) e do tempo de geração da grade. Uma vez definida a resolução e conseqüentemente as coordenadas de cada ponto da grade, pode-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da elevação de cada ponto da grade (INPE, 2000).

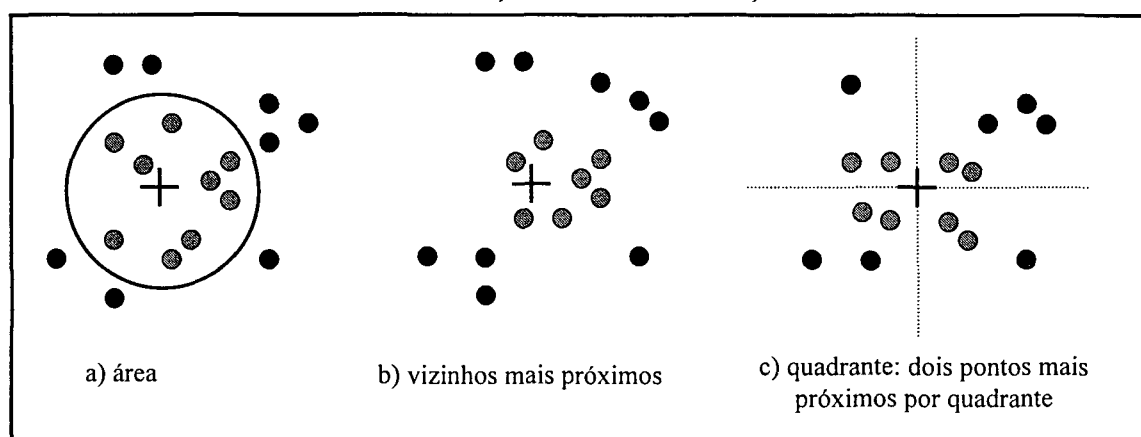
Para geração de grade regular são apresentados os interpoladores segundo dois grupos (FELGUEIRAS, 2001, p. 10):

- a) interpoladores de tendência: representam as variações do fenômeno estudado a partir de regressões polinomiais. Ajusta-se uma superfície polinomial sobre todos os dados amostrais. Superfícies de tendência são funções suaves e raramente passam sobre as amostras a menos que elas sejam poucas e a ordem do polinômio que define a superfície seja alta. Interpoladores de tendência são pouco usados para modelagem digital sempre que a quantidade de amostras é grande.
- b) média móvel: a média das cotas das amostras vizinhas, também conhecido como média móvel, é um dos esquemas de interpolação mais simples para estimação dos valores de cota dos pontos de uma grade regular retangular. Variações desse esquema básico são: interpolador por vizinho mais próximo; interpolador por média simples; interpolador por média ponderada; interpolador por média ponderada por quadrante.

Quanto às funções de interpolação PETTINATI (1983, p. 6) as classifica em globais e locais. O método global considera que a vizinhança seja ilimitada, ou seja, que todos os pontos exerçam sua influência na definição da superfície. Desta forma, a inserção ou retirada de qualquer ponto é propagada por todo o modelo. Para uma grande quantidade de amostras, definir uma função polinomial que represente satisfatoriamente todas as variações espaciais do terreno é difícil. Tendo em vista estes

aspectos é muito comum a utilização de interpolação local. O método local considera a existência de uma vizinhança restrita, ou seja, apenas os pontos dentro de uma dada região influenciarão no resultado. A seleção pode ser feita utilizando-se conceito de área, onde os pontos inserem-se dentro de um círculo de raio pré-determinado e são utilizados para interpolação. Pode-se também determinar o número mínimo de vizinhos mais próximos. Outra opção é a seleção de vizinhos por quadrante ou octante, o que fornece melhor controle sobre a distribuição espacial dos pontos usados na interpolação. A Figura 15 ilustra diferentes métodos de interpolação por vizinhança.

FIGURA 15 - MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO POR VIZINHANÇA



FONTE: Adaptado de (VEIGA, 1996, p. 20)

KENNIE e PETRIE (1990) apud VEIGA (1996, p. 19), classifica os métodos de interpolação em vizinhança, globais e regiões (*patchwise*). Quanto ao método de interpolação por regiões, divide-se uma região em setores ou áreas que podem ser quadradas ou retangulares. Para cada um destes setores é adaptado um polinômio, sendo calculadas as cotas dos pontos da malha que caem em cada um deles. Quando a amostra é dividida em setores exatos, problemas de descontinuidades nas divisas dos setores contíguos podem ocorrer, podendo ser percebidos no desenho das curvas. O ideal é definir setores que se sobreponham, garantindo a continuidade e transição entre setores adjacentes. A vantagem é o uso de polinômios de menor grau, mas, a divisão de setores deve ser feita criteriosamente evitando a criação de áreas com poucos pontos amostrais.

Após a estimação dos valores de elevação (Z) dos vértices de uma grade regular é necessária a definição de “superfícies de ajuste” que determinam o comportamento do fenômeno modelado dentro de cada retângulo do modelo. As “superfícies de ajuste” são utilizadas para se determinar o valor do fenômeno para pontos dentro da região de interesse que não fazem parte da grade. Quando as amostras já estão no formato de grade regular retangular o trabalho de geração de uma nova grade é bastante simplificado pelo fato de existir um relacionamento topológico pré-estabelecido entre as amostras. Esse processamento é usado, em geral, para mudar a resolução de uma grade regular pré-existente. Quando a grade regular derivada é mais densa do que a grade original diz-se que houve um refinamento da grade. Para o refinamento das grades regulares podem-se utilizar os interpoladores bilinear e bicúbico (FELGUEIRAS, 2001, p. 14).

Concluída a construção da grade regular, para muitas aplicações, principalmente qualitativas, estará pronto o MDT. Entretanto, outros usos irão exigir a definição de pontos inicialmente não armazenados na grade gerada. Assim, o cálculo de volumes, por exemplo, será tanto mais preciso quanto mais próximo da superfície verdadeira for o modelo numérico e em muitos casos a grade regular não representará satisfatoriamente esta superfície. Para minimizar este problema é associado à grade regular, funções interpolantes que obterão, a partir daquela, os pontos necessários a densificação de pontos. Estas funções serão variadas conforme o tipo de terreno a ser representado, e dependendo do critério que se adote para limitar o MDT poder-se-á ter num mesmo modelo funções interpolantes diferentes (DESTRI, 1987, p.62).

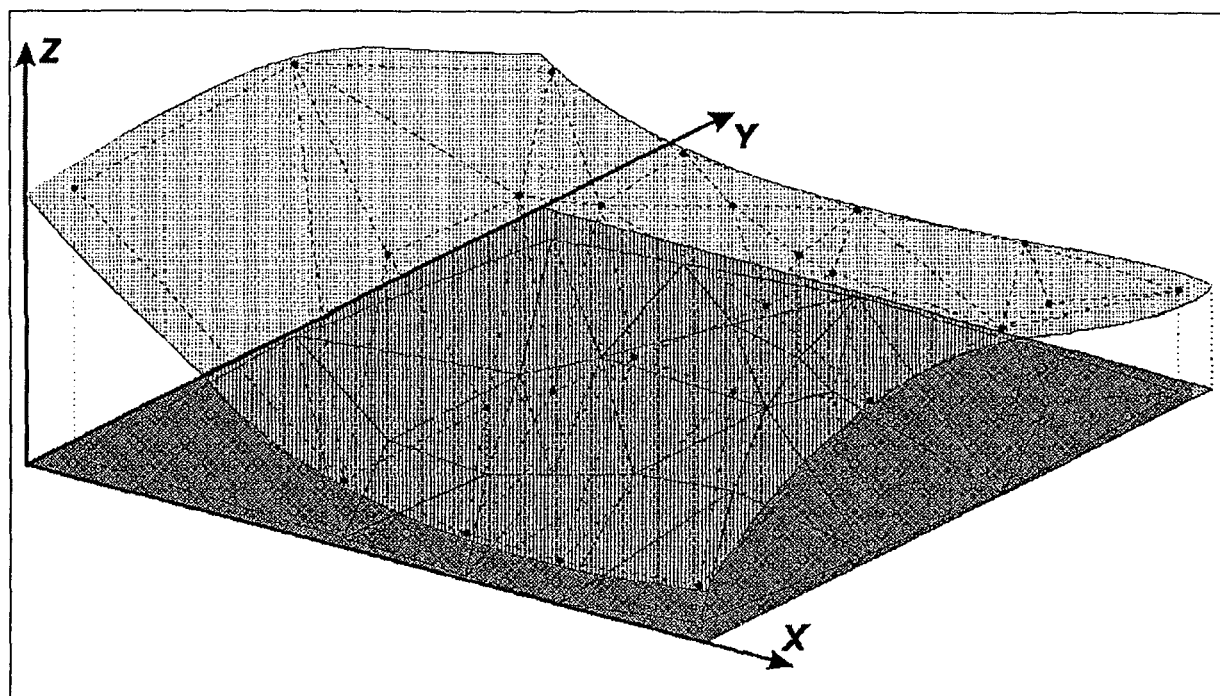
3.1.2 Grade Triangular

Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo (Figura 16). Os vértices do triângulo são os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem permite que as informações morfológicas importantes como as descontinuidades, representadas por

feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando modelar a superfície do terreno preservando as feições geomorfológicas da superfície (INPE, 2000).

O número de redundâncias é bastante reduzido comparado à grade retangular, uma vez que a malha é mais densa em regiões de grandes variações e mais espaçada em regiões quase planas. As discontinuidades da superfície podem ser modeladas através de linhas e pontos característicos. A desvantagem da grade irregular é que os procedimentos para obtenção de dados derivados tendem a ser mais complexos e conseqüentemente mais demorados que os da grade retangular (INPE, 2000).

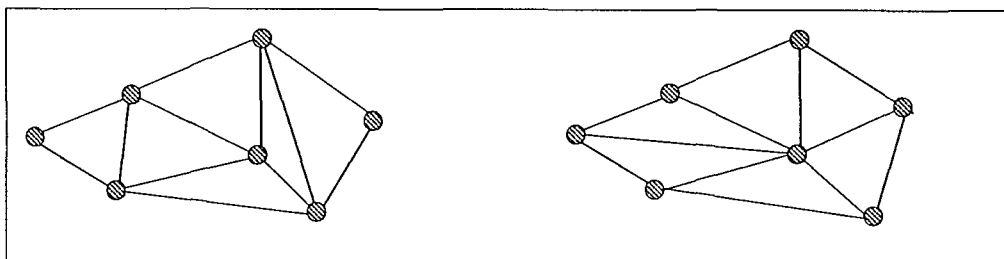
FIGURA 16 – GRADE TRIANGULAR



FONTE: (INPE, 2000)

Quanto às redes triangulares, pode-se notar que, fornecidos alguns pontos, não existe uma triangulação única para eles. Entre as diversas opções devem-se preferir aquelas que fornecem triângulos bem conformados, evitando, na medida do possível, lados muito díspares e ângulos muito agudos. A Figura 17 ilustra duas opções de triangulação para o mesmo conjunto de pontos (CINTRA, 1985, p. 39).

FIGURA 17 – OPÇÕES DE TRIANGULAÇÃO PARA O MESMO CONJUNTO DE PONTOS



FONTE: Adaptado de (CINTRA, 1985, p. 39)

Ainda segundo CINTRA (1985, p. 39), a elaboração de algoritmos para dividir uma região em triângulos aceitáveis não é tão fácil como pode parecer à primeira vista. Existem muitas opções, nem todas coincidentes com relação ao resultado final. Uma boa opção é a obtenção da triangulação de *Delaunay*. Com a malha triangular pronta deve-se pensar no modelo matemático do terreno, na superfície que se adota para cada triângulo. Alguns métodos utilizam um plano em cada domínio obtendo uma superfície poliédrica de faces triangulares para representar o terreno. Com isso fica garantida a continuidade global da representação, mas não a suavidade da superfície, já que existem arestas vivas, precisamente os lados dos triângulos. Para obter uma superfície suave pode-se adaptar uma equação matemática mais complexa para cada triângulo, impondo condições que garantam simultaneamente a continuidade da função e suas derivadas.

Durante a geração de grades triangulares é muito importante que as características topográficas da superfície sejam preservadas. Assim torna-se interessante que o conjunto de amostras contenha as linhas características da superfície, como por exemplo, linhas divisoras de águas (linhas de máximos) e linhas de drenagem (linhas de mínimos). A estrutura do modelo de grade triangular é mais propícia para a inclusão de linhas características do modelo (FELGUEIRAS, 2001, p. 17). As “linhas de quebra” modelam as informações morfológicas de descontinuidade e são incorporadas à triangulação, constituindo arestas de triângulos. O modelo final terá estas informações adicionais incorporadas, possibilitando uma representação mais fiel do terreno, uma vez que não suaviza a superfície ao longo de feições como vales e

cristas. O método sem “linhas de quebra” realiza a triangulação sem considerar estas linhas, resultando em um modelo de terreno suavizado também ao longo dessas linhas.

3.1.3 Grade Retangular x Grade Triangular

A partir de um modelo de grade triangular é possível criar-se um modelo de grade retangular. Para isto, inicialmente é necessária a definição dos parâmetros que definem a grade regular, ou seja, referência geográfica, resoluções espacial e tamanho da grade em número de linhas e colunas. A partir dessa definição deve-se calcular o valor de cota de cada elemento da grade. Esse valor é obtido encontrando-se o triângulo que contém o ponto da grade regular. Utilizando-se os valores de cota dos vértices desse triângulo e, opcionalmente, dos vértices de seus triângulos vizinhos pode-se estimar o valor de cota do ponto da grade regular. Essa estimativa pode usar uma interpolação linear ou uma interpolação polinomial. Usando-se apenas os 3 vértices de um triângulo pode-se definir o plano que passa por esses 3 pontos. Dessa forma, pode-se estimar o valor de cota de qualquer ponto interno a um triângulo do modelo irregular. Para se ajustar superfícies não lineares para cada triângulo deve-se utilizar os vértices do triângulo e dos seus vizinhos. A transformação de um modelo de grade triangular em retangular é útil quando se quer visualizar o modelo em projeção planar a partir de uma grade regular, e o único modelo que se dispõe é o de grade triangular. O processo de visualização do MDT em projeção planar fornece um resultado mais realista quando se usa o modelo de grade regular ao invés da grade irregular (FELGUEIRAS, 2001, p. 20).

Ainda segundo FELGUEIRAS (2001, p. 20), também possível é a geração de grade triangular a partir de grade retangular. Muitas vezes o usuário já tem um modelo de grade regular que foi gerado anteriormente. A partir desse modelo de grade regular, pode-se aplicar um método de redução de amostras sobre a grade criando-se um conjunto de amostras irregularmente espaçadas. Essas amostras são então utilizadas na geração do modelo de grade triangular. A transformação de grade retangular para

grade triangular pode ser necessária caso existam algoritmos de análise no SIG que só trabalham sobre grades triangulares. Um exemplo típico acontece, quando o SIG só consegue extrair linhas de contornos de grades triangulares. O Quadro 7 apresenta as principais diferenças entre os modelos de grade retangular e de grade irregular triangular.

QUADRO 7 - COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE GRADE RETANGULAR E TRIANGULAR

GRADE REGULAR RETANGULAR	GRADE IRREGULAR TRIANGULAR
Apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Não apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos retângulos são estimados a partir das amostras	Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral
Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas	Representa melhor superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas
Estrutura de dados mais simples	Estrutura de dados mais complexa
Relações topológicas entre os retângulos são explícitas	É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos
Mais utilizado em aplicações qualitativas e análises no formato matricial	Mais utilizado em aplicações quantitativas

FONTE: (FELGUEIRAS, 2001, p. 21).

3.2 CÁLCULOS DE VOLUME A PARTIR DE UM MDT

Os modelos digitais são utilizados por uma série de procedimentos de análises úteis para muitas aplicações. As análises podem ser qualitativas ou quantitativas e são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações.

Em muitos problemas de engenharia civil é necessário modelar a topografia de modo a ser possível estimar o volume do material a ser removido ou a ser colocado para preparar para o desenvolvimento proposto. Estimativas precisas deste material são necessárias para obter-se orçamentos precisos. O procedimento mais usual é construir um MDT do local por meio dos dados do primeiro levantamento, e então criar um segundo MDT que tenha sido modificado para mostrar as mudanças propostas. O MDT obtido pela diferença é aquele do material removido ou adicionado e seu volume pode ser obtido por integração numérica (BURROUGH, 1986, p. 46).

Segundo FELGUEIRAS (2001, p. 37), a partir de um modelo digital de terreno é possível calcular volumes dentro de uma região do espaço. Delimitando-se uma área, dentro de uma região de interesse e definindo-se um plano horizontal de corte $Z = Z_b$, onde Z_b é cota de referência ou cota base, é possível o cálculo do volume de corte e o volume de aterro referentes a esse plano base. Assim, os valores de cota acima da cota base contribuem para o volume de corte enquanto que os valores de cota abaixo da cota base contribuem para o volume de aterro. Pode-se calcular também uma cota ideal para o plano horizontal que igualaria os volumes de aterro e de corte. Esses cálculos são muito úteis para objetivos de estudos da terraplanagem de uma área.

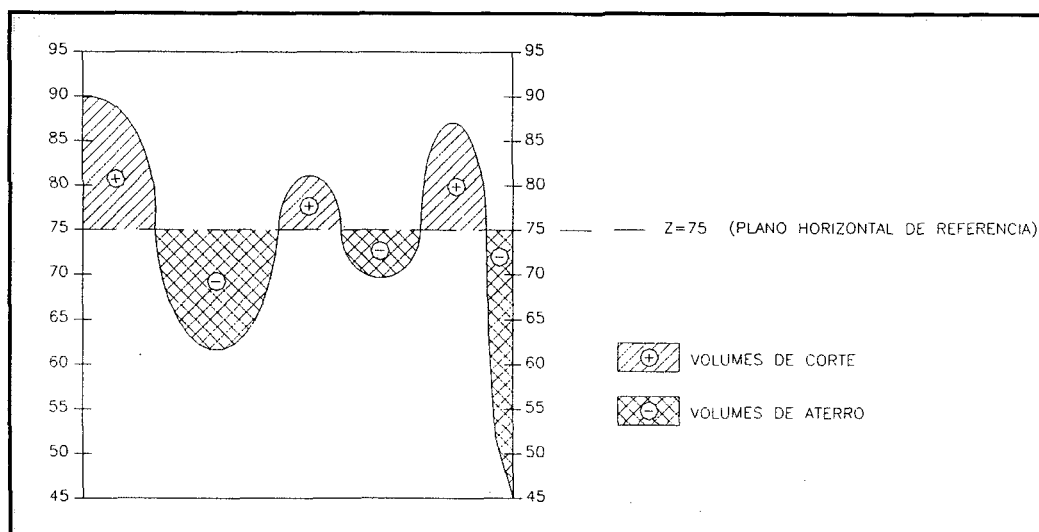
Essa mesma aplicação pode ser usada para fins de cálculo do volume de água represado por uma barragem. O plano horizontal base e a região de interesse são definidos pela altura de enchimento da barragem. Neste caso, o volume de água da barragem é igual ao volume de aterro calculado.

3.3 PARTICULARIDADES DO PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZADO NA GERAÇÃO DOS MDT E CÁLCULO DOS VOLUMES (SURFER)

Durante o desenvolvimento deste trabalho houve necessidade de explorar algumas potencialidades e informações que o *software* SURFER (seção 5.1.2.4) fornece. A seguir estão resumidas algumas dessas informações.

Os volumes de corte e aterro aparecem como volumes positivos (*cut*) e negativos (*fill*). A porção de corte é o volume entre a superfície mais alta e a mais baixa, quando a mais alta está acima do plano de referência imposto. A porção de aterro é o volume entre a superfície mais alta e mais baixa, quando a mais alta está abaixo do plano de referência. A Figura 18 ilustra a relação entre as superfícies mais altas e mais baixas e o volume de corte e aterro.

FIGURA 18 – RELAÇÃO ENTRE AS SUPERFÍCIES E O VOLUME DE CORTE E ATERRO



As áreas também são computadas, de forma que a área plana é dada pelas projeções no plano horizontal das regiões de corte e aterro. A área plana positiva representa a projeção de corte (áreas do mapa onde a superfície mais alta está acima da superfície mais baixa), acima do plano horizontal. A área negativa plana representa a projeção de aterro (áreas do mapa onde a superfície mais alta está abaixo da superfície mais baixa) abaixo do plano horizontal.

Para o processo de geração das grades, o *software* tem disponíveis vários interpoladores dentre eles: inverso da distância, kriging, vizinho mais próximo, método de *Shepard*, função de base radial, triangulação com interpolação linear, etc. O interpolador utilizado neste trabalho para a geração das grades foi o inverso da distância (seção 5.5), o qual possui as seguintes características principais: este método utiliza um interpolador de média ponderada e que pode ser exato ou suavizante (*smoothing*) em relação à concordância com os pontos originais de observação. Durante a interpolação, os dados do levantamento são ponderados para que a influência de um ponto em relação a outro varie inversamente com a distância de um nó da grade regular ou seja, os pontos ou amostras mais próximos terão peso maior. Este é um método muito rápido para se efetuar o *gridding*, entretanto, tende a gerar curvas que circundam a posição dos pontos observados (FRANKE, 1982).

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 ILHA DO MEL (HISTÓRICO)

4.1.1 Introdução

O litoral do Estado do Paraná, localizado no sul do Brasil, possui algumas características que o diferem dos demais estados da costa sul e sudeste brasileira. A Serra do Mar encontra-se bem interiorizada no estado, possibilitando a formação de extensas planícies costeiras e de duas grandes baías a de Paranaguá e a de Guaratuba. As praias do litoral paranaense e o sul de São Paulo formam grandes arcos praias, diferindo da linha de costa mais recortada, característica da maior parte do litoral nos estados de São Paulo e Santa Catarina (SOARES et al., 1997, p. 1).

A praia é a interface entre o continente e o mar, estando sujeita a diversas variações. Sendo um ambiente de alta energia (do ponto de vista sedimentar), as variáveis ambientais ocorrem por processos deposicionais ou erosivos em períodos de curto, médio ou longo prazo. Estes processos refletem a alteração de um perfil de praia até o desenvolvimento de um arco praial. (PARANHOS F^o, 1996, p. 1).

A região litorânea caracteriza-se por apresentar extensas planícies arenosas, formadas durante o quaternário, quando o mar apresentava níveis relativos mais altos que o atual. As planícies se estendem desde o sopé da Serra do Mar até o oceano, atingindo na região de Antonina/Paranaguá, uma largura aproximada de 50 km. A continuidade das planícies é interrompida por três sistemas estuarino-lagunares denominados baías de Guaratuba, de Paranaguá e de Pinheiros. Na região das planícies, também ocorrem morros e colinas, sustentados por rochas do embasamento pré-cambriano e, em alguns casos, por sedimentos Cenozóicos. É possível identificar dois tipos principais de litoral no Paraná: o do Interior que apresenta forma recortada e constituição geralmente lamosa, e o de Mar Aberto que se caracteriza pelos mangues, os quais fornecem a matéria orgânica que se deposita junto aos sedimentos terrígenos. A extensão dos mangues no interior dos complexos estuarino-lagunares é de cerca de

310 km². As praias arenosas estendem-se ao longo de todo o litoral de Mar Aberto, interrompido apenas por alguns pontais rochosos e pela embocadura das baías (ANGULO, 1993 a, p. 53).

O estado paranaense em extensão litorânea é o penúltimo à frente apenas do Piauí, porém possui grande relevância econômica. Segundo a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), possui o primeiro maior porto (Porto de Paranaguá), em exportação de grãos e um dos maiores em arrecadação de divisas do Brasil. Nos 105 km de linha de costa oceânica, observa-se um grande contraste entre as áreas rapidamente urbanizadas nas últimas décadas, em função do fluxo turístico de veraneio e as áreas de preservação ao norte, no limite com o estado de São Paulo, onde se localiza uma das áreas mais intactas da Mata Atlântica do Brasil, a área de proteção ambiental de Guaraqueçaba e o parque nacional do Superagüi. O litoral do Paraná foi um dos primeiros a ser estudado geologicamente, com trabalhos de J. J. Bigarella e da Comissão da Carta Geológica do Paraná, nas décadas de 50 e 60. Vários estudos tem sido realizados com o intuito de investigar as variações do nível médio marinho, a evolução da planície costeira e os problemas erosivos da zona costeira associados à urbanização da região (SOARES et al., 1997, p. 1).

Segundo PARANHOS F^o. (1996, p. 2), a Ilha do Mel tem sido motivo de atenção, tanto da imprensa (Figura 19) quanto do meio acadêmico científico, devido a fenômenos erosivos que atuam na região. A separação da ilha em duas porções poderá mudar a desembocadura da bacia de Paranaguá, afetando as condições de acesso ao Porto de Paranaguá, além de causar prejuízos aos moradores da área afetada.

FIGURA 19 - DIVULGAÇÃO PELA IMPRENSA NOS ÚLTIMOS ANOS DO PROCESSO EROSIVO DA ILHA DO MEL



FONTE: (KRUEGER, et al., 1999, p. 61)

4.1.2 Trabalhos Anteriores

Os fenômenos erosivos na Ilha do Mel vem sendo alvo de estudos desde a década de 40. Nos trabalhos pioneiros sobre o litoral paranaense BIGARELLA (1946) cita a Ilha do Mel em suas pesquisas, porém, o primeiro trabalho específico deve-se a FIGUEIREDO (1954) que descreve aspectos históricos, geográficos e humanos da ilha. O mesmo observou a tendência erosiva das costas da ilha e mencionou a possibilidade desta se separar em duas pelo seu istmo, sendo o processo erosivo intensificado a partir do ano de 1936. Muitas são as contribuições científicas na área como: ANGULO (1989, 1993 a e b); PARANHOS F^o. e SOARES (1992) sendo este último o primeiro trabalho específico sobre a erosão na ilha. Um trabalho que também merece destaque é ANGULO (1992) que propôs uma evolução para a região, além de ressaltar que a Ilha do Mel constitui um anteparo natural à ação das ondas no interior da Baía de Paranaguá. O autor salientou que sem a existência da ilha, a energia ambiental de áreas hoje protegidas seria muito maior.

Na década de 90, iniciaram-se estudos na ilha, baseados no posicionamento utilizando técnicas espaciais. Neste contexto, algumas pesquisas visaram detectar e

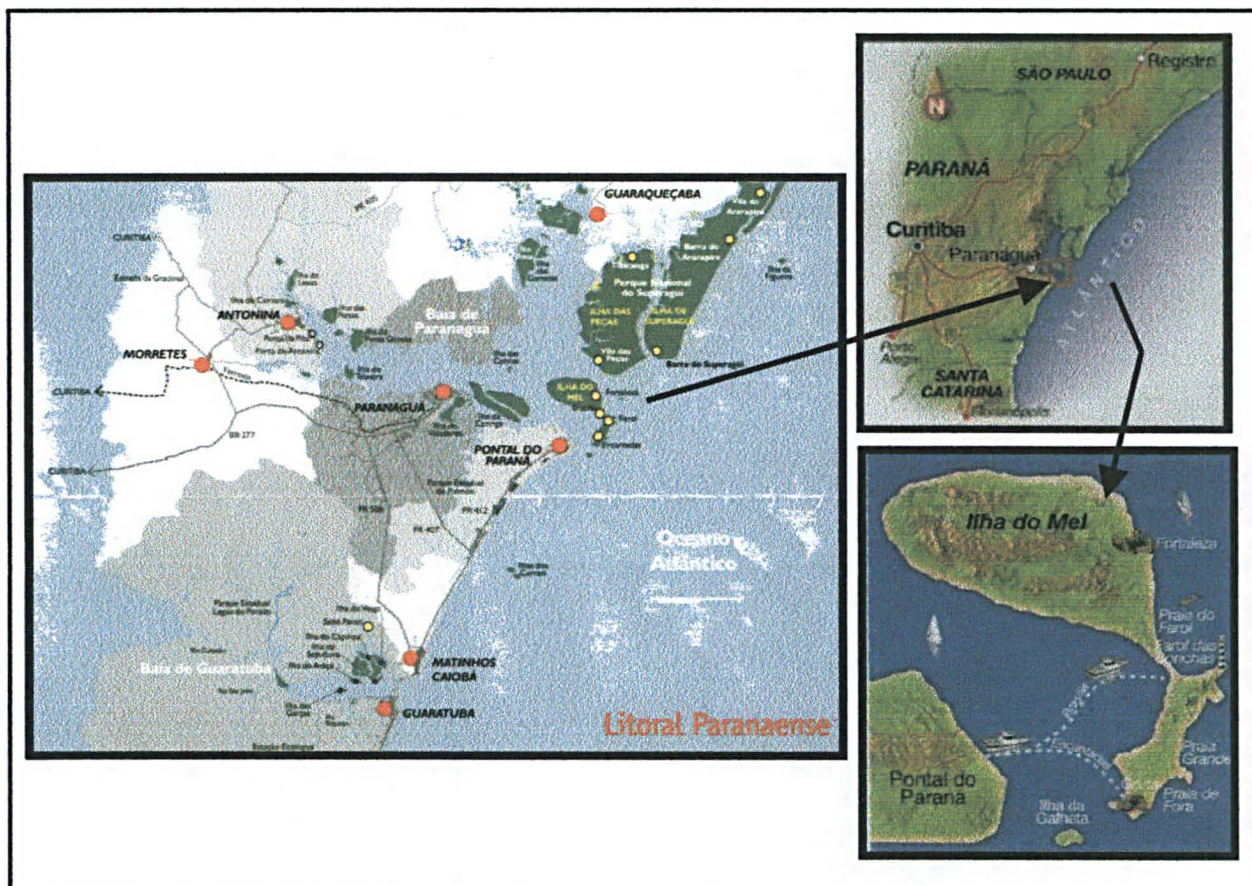
quantificar a evolução temporal das linhas de costa bem como a variação volumétrica do processo erosivo do istmo, fornecendo e contribuindo com a interdisciplinaridade do tema. Podem-se citar trabalhos realizados por KRUEGER (1996); KRUEGER et al., (1997); KRUEGER et al., (1999).

O intuito das investigações em regiões costeiras é o fato delas representarem importante papel ecológico como refúgio e criadouro de espécies animais, despertando a consciência de preservação do meio ambiente, além do turismo que envolve a região e também enfatizar a comunidade, aos administradores públicos, aos planejadores e aos ambientalistas, a importância das informações geodésicas e cartográficas e da caracterização do meio físico no processo de planejamento prévio adequado.

4.1.3 Localização, Acesso, Limites e Tipologia do Litoral do Estado Paranaense

O litoral do Estado do Paraná, situa-se entre as latitudes sul 25° 19' e 25° 58' 30" e entre as longitudes oeste 48° 06' e 48° 35' 30" (ANGULO, 1993 b, p. 53). Com uma área aproximadamente de 6.600 km². Os limites estaduais são respectivamente, com o Estado de São Paulo ao norte, na foz do Rio Ararapira e com o Estado de Santa Catarina ao sul, na foz do Rio Saí-Guaçu. As principais cidades da região litorânea correspondem às sedes dos municípios, sendo elas: Paranaguá, Morretes, Antonina, Guaraqueçaba, Matinhos, Pontal do Sul e Guaratuba (Figura 20). Há uma grande quantidade de balneários na faixa litorânea dos municípios, bem como uma grande quantidade de pequenas vilas nas ilhas das baías de Guaratuba e Paranaguá (SOARES et al., 1997, p. 1).

FIGURA 20 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO LITORAL DO ESTADO DO PARANÁ, PRINCIPAIS CIDADES E A ILHA DO MEL



FONTE: (NIEFER, 2000)

Embora a ocupação das baías de Paranaguá e Antonina seja antiga, a ocupação da orla só tornou-se significativa a partir da década de 50 quando Matinhos, Guaratuba e a Ilha do Mel tornaram-se locais efetivos de veraneio. Com o asfaltamento da BR 277 e da ligação entre ela com a Praia de Leste, através da PR 407 e demais balneários através da PR 412 (que acompanha a orla) os acesso às praias do litoral paranaense foram facilitados.

Segundo ANGULO e ARAÚJO (1996, p. 10), a tipologia da linha de costa paranaense pode ser subdividida em três tipos básicos, com base na sua dinâmica:

- a) costa oceânica ou de mar aberto: possui praias arenosas e tem a sua dinâmica dominada por ondas e correntes de deriva litorânea. A costa oceânica é interrompida por estuários (Baías de Paranaguá e Guaratuba) que recortam

profundamente a planície costeira, originando numerosas ilhas e um extenso litoral de costas protegidas, a extensão total é de 61,1 km.

- b) costas estuarinas: correspondem àquelas situadas no interior das Baías de Paranaguá e Guaratuba, num total de 1.316,8 km de extensão. Possuem amplas planícies de maré, sendo sua dinâmica dominada por marés e correntes de maré.
- c) costa com influência das desembocaduras: situam-se ao redor das desembocaduras das Baías de Paranaguá e Antonina. Estas apresentam praias arenosas, semelhantes às oceânicas, porém com dinâmica mais complexa, envolvendo a interação de ondas, correntes de deriva litorânea e corrente de maré. Neste tipo de costa verificam-se rápidas mudanças morfológicas espaço-temporais. A extensão deste grupo é de 1.051 km.

4.1.4 Histórico da Ilha

Antes da ocupação pelos colonizadores, a região litorânea da Cananéia até à Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul, foi dominada pelos índios Carijós. A existência de sambaquis (aglomerações de “restos de cozinha” dos índios, como as partes não perecíveis de ostras, mexilhões, peixes, etc.) nas ilhas, desembocaduras e enseadas no litoral paranaense são testemunhos deste fato. Esses amontoados detriticos, deteriorados com o tempo, podem formar camadas de massa branca (cal), alcançando vários metros de altura. A colonização paranaense iniciou-se no final do século XVI (FIGUEIREDO, 1954, p. 42). Existem quatro versões sobre a origem do nome “Ilha do Mel” (NIEFER, 2000):

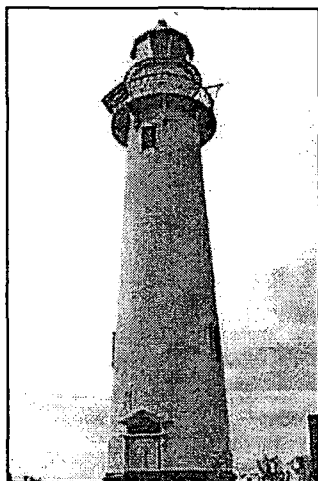
- a) antes da segunda guerra mundial a ilha era conhecida como ilha do Almirante Mehl que se dedicou à apicultura;
- b) marinheiros aposentados viviam na ilha e dedicaram-se à apicultura, produzindo em grande quantidade ao ponto de exportar o produto até os anos 60;
- c) a água doce existente na ilha contém mercúrio, em contato com a água salgada isto causa uma coloração amarela, semelhante à cor de favos de mel;

- d) os índios carijós que viviam na região apreciavam muito o mel de abelhas, então a exploração apícola é antiga. Existem mapas antigos onde a ilha já foi denominada de Ilha do Mel (segundo informações de PEREIRA, 2000). Até o final do século retrasado, oficialmente, a ilha era chamada de Ilha da Baleia;

Em 1776 iniciou-se a construção da Fortaleza de Nossa Senhora dos Prazeres da Barra de Paranaguá, também chamada de Fortaleza da Barra. A construção terminou em 23 de abril de 1779. A finalidade do forte era proteger a Baía de Paranaguá de naus estrangeiros que invadiram a Barra de Paranaguá, a qual foi um dos primeiros portos da Capitania de São Paulo. A fortaleza foi o único estabelecimento militar do século XVIII no Paraná, e o primeiro forte do Brasil a entrar em combate, protegendo a Baía de Paranaguá de navios piratas. No século passado ocorreu um incidente, conhecido como “Cormoran”, intimamente ligado à história da Fortaleza da Ilha do Mel. Um navio inglês chamado de Cormoran invadiu a bacia de Paranaguá perseguindo navios negreiros. A população de Paranaguá revoltou-se contra esta invasão e o navio teve que fugir. Passando pela ilha houve troca de tiros, avariando o navio e matando um marinheiro. Durante a segunda guerra mundial foi instalado um sistema de defesa em forma de labirinto no Morro da Baleia que fica acima da Fortaleza. Em 1936 a Fortaleza foi tombada como monumento histórico. Foi restaurada a partir de 1990 (NIEFER, 2000).

Na Praia do Farol encontra-se o farol das Conchas, localizado sobre o morro de mesmo nome na extremidade leste da ilha. Os componentes do farol foram importados da Inglaterra. A inauguração aconteceu em 25 de março de 1872. O farol tem 18 m de altura e eleva-se à cerca de 60 m do nível do mar (Figura 21). Na extremidade norte da ilha, encontra-se o mirante Cassual, construído no período de 1904 a 1917. Comporta um rádio farol, que auxilia a navegação pelo canal de acesso norte (NIEFER, 2000).

FIGURA 21 - FAROL DAS CONCHAS



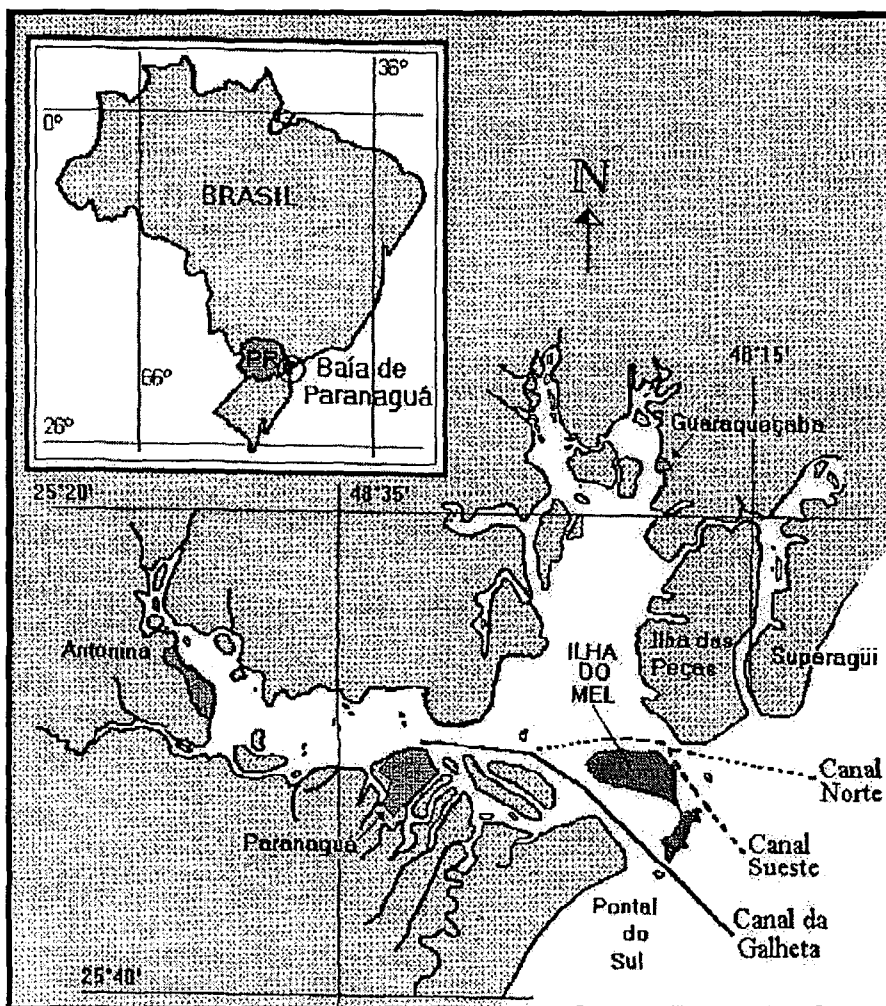
FONTE: (PEREIRA, 2000)

Na década de 20, a Ilha do Mel teve início a fase turística, sendo o primeiro recanto turístico do Estado do Paraná. Naquela época, os barcos saíam de Paranaguá e atracavam próximos ao forte, onde havia um trapiche e uma “jardineira” que trafegava pela ilha. Em 1926 foi inaugurada a estrada das praias, a população da ilha continuou vivendo da atividade típica, que era a pesca artesanal. Até alguns anos atrás, 1988, a Ilha do Mel não dispunha de luz elétrica, água canalizada, transporte regular e outros atendimentos essenciais primários. Durante dois séculos, a dificuldade de acesso restringiu em muito o fluxo de pessoas à ilha. Somente no final da década de 70 recomeçou o movimento turístico, que atualmente já pode ser considerado como turismo em massa e que está sobrecarregando os recursos da ilha (NIEFER, 2000).

4.1.5 Situação Geográfica

A Ilha do Mel situa-se na entrada da baía de Paranaguá, litoral do Estado do Paraná (Figura 22) possui uma parte noroeste maior que a sudeste, sendo as partes ligadas por um istmo. A superfície estimada da ilha é de aproximadamente 27 km² e seu perímetro é da ordem de 36,5 km (FIGUEIREDO, 1954, p. 6).

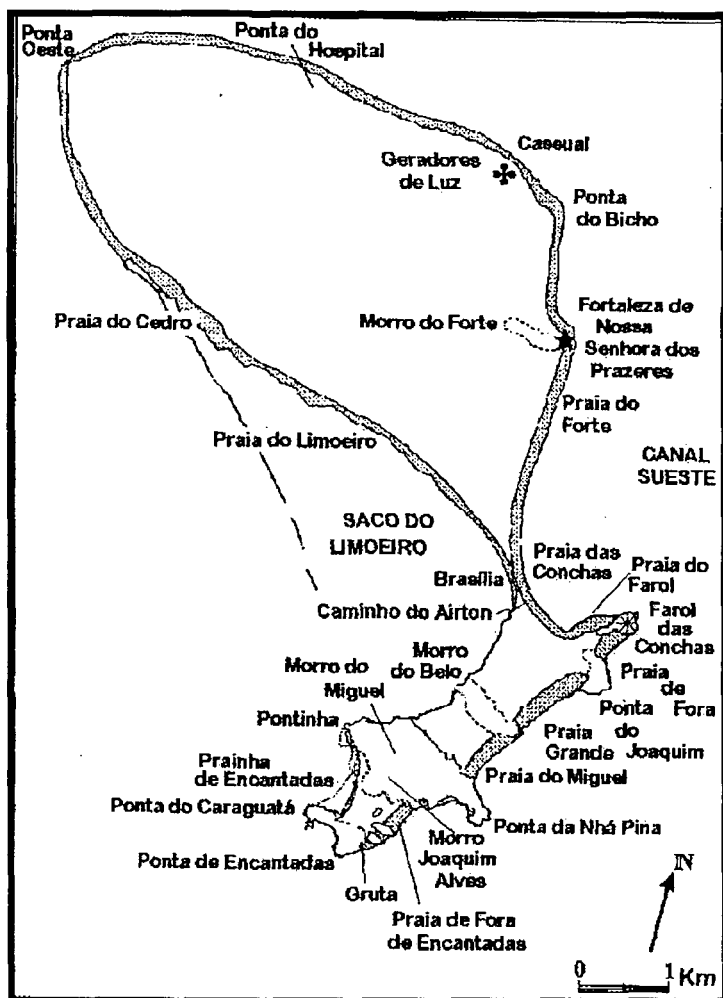
FIGURA 22 - BAÍA DE PARANAGUÁ, COM A LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL



FONTE: (PARANHOS F^o., 1996, p.5)

Ao norte e nordeste a ilha é separada da ilha das Peças pelos canais Norte e Sueste. Ao sul separa-se de Pontal do Sul (continente) pelo canal sul ou da Galheta. A região ocidental da ilha é banhada pelas águas da baía de Paranaguá no local conhecido como Mar de Dentro ou Saco do Limoeiro (Figura 23). A região oriental é banhada pelo oceano Atlântico, e por isso apresenta um comportamento dinâmico completamente diferente da parte ocidental protegida pela baía (PEREIRA, 2000).

FIGURA 23 - TOPONÍMIA DA ILHA DO MEL



FONTE: (PARANHOS Fº., 1996, p. 6)

A ilha em sua maior extensão, principalmente ao norte, é constituída por vasta planície de restinga. Ao sul, em área menor, encontram-se vários morros de altitude variável, ligadas entre si por formações arenosas. Entre as elevações formadas por rochas cristalinas (gnaisses) destacam-se o Morro Bento Alves (158 m), Morro do Meio (100 m), Morro da Baleia (78 m), Morro do Joaquim (65 m), Morro das Encantadas (68 m) e Morro das Conchas (50 m). A planície costeira geralmente possui altitude inferior a 5 m, com exceção do cordão arenoso situado entre os Morros do Meio e Bento Gonçalves o qual alcança 22,7 m de altitude. A drenagem na ilha é indefinida, inserida nas depressões dos feixes de restinga. A drenagem é em grande parte impedida, originando faixas alongadas de terrenos úmidos e pantanosos. Alguns

pequenos córregos deságuam no lado oceânico, outros no Mar de Dentro, nos Morros não existe um sistema permanente de drenagem (PEREIRA, 2000).

4.1.6 Geografia: Tipos de Solos, Clima, Ventos

Na ilha encontram-se dois tipos fundamentais de solos podzólicos. Nos morros ocorre o Podzólico vermelho amarelo (Pva), de textura argilosa, fase floresta perúmida. São solos medianamente profundos (1 a 2 m) e bem drenados. Possuem fertilidade natural baixa e são bastante suscetíveis à erosão. Nos morros desmatados, grande parte do perfil do solo foi erodido com a perda quase total de sua fertilidade. Nas partes planas da ilha, constituídas pelas seqüências arenosas das restingas é referida a ocorrência de “Podzol”, quando desprovidos da vegetação nativa, perdem o conteúdo de matéria orgânica da parte superficial, restando apenas areias de quartzo, o qual é facilmente erodível. Fica evidente que os solos da ilha não possuem vocação especial para a agricultura, justificando plenamente a criação da reserva ecológica protegendo e preservando a flora e fauna das restingas e dos morros (PEREIRA, 2000).

Conforme IPARDES (1990) apud PARANHOS F^o. (1996, p. 8), o principal elemento regionalizador do clima do litoral e da Serra do Mar é a temperatura. Segundo a classificação de Köeppen – C, a Ilha do Mel, bem como a parte de baixa altitude do litoral, até aproximadamente a cota de 700 m, corresponde ao tipo climático pluvial temperado; sempre úmido (Cfa), com chuva todos os meses do ano.

Ressalta-se que no litoral, devido ao rápido aquecimento do solo ao longo do dia, ocorrem brisas marítimas de E e SE aproximadamente ao meio dia. A brisa continental provém de SW e S e mais raramente de NW. Estes dados referem-se à antiga estação meteorológica do farol das Conchas (na Ilha do Mel), hoje desativada (MAACK, 1968, p. 142).

Os dados referentes ao clima de Pontal do Paraná (antigo Pontal do Sul) continente indicam que no verão os meses são mais chuvosos. O mês de fevereiro é o

de maior índice pluviométrico acumulado (320 mm) e o período mais seco é o inverno, tendo uma média de 61 mm. A temperatura média no mês de janeiro (o mais quente) é de 25° C (SOARES, 1990, p. 21).

4.1.7 Aspectos Legais

A Ilha do Mel foi tombada em 16 de maio de 1975 por ato da Coordenadoria do Patrimônio Cultural da Secretaria do Estado da Cultura. Deliberações posteriores culminaram com a criação da Reserva Ecológica da Ilha do Mel, com a finalidade de proteger e preservar os ecossistemas das restingas e dos morros. Um plano diretor prevê áreas de ocupação, tanto pela população local como pelos veranistas, estabelecendo diretrizes para preservação do patrimônio natural do restante da ilha (NIEFER, 2000).

A maior parte da ilha, cerca de 2.585 ha é mantida como área de preservação ambiental “Decreto lei 5.454 de 21/09/82” (FARIAS e LIMA, 1990, p. 401) e, portanto não pode ser ocupada, embora existam alguns poucos moradores nativos nestas áreas. A administração e demarcação de terras competem ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP), conforme o “Decreto Lei 4.964 de 27/02/85” (FARIAS e LIMA, 1990, p. 448) que delegou tal encargo ao então Instituto de Terras, Cartografia e Florestas (ITCF). Cabe ressaltar que embora a ilha seja o mais importante ponto turístico do litoral paranaense, não apresenta infra-estrutura adequada para receber um grande contingente de pessoas (PARANHOS F^o., 1996, p. 7).

4.1.7.1 Coletânea de legislação e documentação

Não se deseja com este capítulo explicitar as normas jurídicas (legislação ambiental) deliberadas para o litoral paranaense (Ilha do Mel), mas fornecer de forma breve a existência delas como instrumentos legais necessários à atuação técnica e

científica, subsidiando o processo das pesquisas para o desenvolvimento do país. Questões e leis importantes quanto o uso e ocupação do solo, recuperação e conservação do meio ambiente devem ser consultadas em pesquisas não só no âmbito marinho mas, por pessoas que direta ou indiretamente desempenham suas atividades fazendo uso dos recursos naturais. Algumas normas jurídicas, com respeito à ilha do Mel, são apresentadas por (PEREIRA, 2000):

- a) Lei Federal 9760, Artigo 105, de 05/09/46

Preferências de aforamento;

- b) Lei Estadual 1211, de 16/09/53

Dispõe sobre o Patrimônio histórico e artístico do Paraná;

- c) Inscrição nº 38 de 01/03/72

Registra o tombamento da Fortaleza de Nossa Senhora dos Prazeres;

- d) Inscrição nº 56 de 16/05/75

Registra o tombamento da Ilha do Mel, com a finalidade de proteção da flora, fauna e sambaquis;

- e) Decreto Estadual 2611 de 02/07/80

Constitui comissão especial para estudo das ilhas do litoral paranaense, notadamente das Ilhas do Mel e Superagüi

- f) Relatório nº 02 07/81

Define o plano de uso para a Ilha do Mel;

- g) Portaria nº 160 da Secretária do Município da Fazenda de 15/04/82

Autoriza a cessão, sob regime de aforamento dos terrenos que menciona, situados na Baía de Paranaguá, estado do Paraná;

- h) Certidão nº 061/82 do Serviço do Patrimônio da União/ Paraná

Transcreve o contrato de cessão, sob regime de aforamento de terrenos da marinha e interiores, existentes na denominada Ilha do Mel, firmado entre a União Federal e o Estado do Paraná, em 05/08/82, contrato registrado, no livro próprio de contratos de cessão nº 02, fls. 29 a 34v, do S.P.U. Delegacia no Estado do Paraná;

- i) Matrícula do imóvel da Ilha do Mel nº 26970 em 24/02/83 no Cartório de registro de imóveis de Paranaguá, Paraná;
- j) Decreto Estadual nº 5.397, de 02/09/82
Delega ao Instituto de Terras e Cartografia - ITC, os poderes necessários à fiel execução das atribuições conferidas ao Estado do Paraná na portaria nº 160, de 15/04/82, da secretaria geral do ministério da fazenda;
- l) Exposição de motivos do Instituto de Terras e Cartografia de 10/12/84
Histórico, competência institucional, destinação da Ilha do Mel e justificativas para o Instituto de Concessão de Uso.
- m) Decreto Estadual nº 3502 de 03/09/97
Delega ao Instituto Ambiental do Paraná os poderes para a fiel execução dos poderes conferidos ao Estado do Paraná pela portaria nº160 de 15/04/82, do Ministério da Fazenda e cria o Conselho gestor da Ilha do Mel.

Mais detalhes podem ser consultados em: SUREHMA (1998); FARIAS e LIMA (1990).

4.1.8 Problemas Relacionados com a Ilha do Mel

São vários os problemas que afetam a Ilha do Mel. A exploração turística acontece de uma forma totalmente descontrolada, pois não houve um planejamento adequado e por falta de fiscalização ainda acontecem ações ilegais, principalmente ligadas à venda de terrenos. Uma boa parte da população nativa da ilha foi, e ainda é, completamente sem preparo para conviver com o turismo intenso. Muitas pessoas, ex-pescadores, deixaram a profissão para ganhar dinheiro fácil com serviços secundários. Estas pessoas, perderam completamente a identidade cultural e os costumes que antigamente existiam.

O turismo é muito sazonal. A alta temporada acontece nos períodos de dezembro até março e o resto do ano somente há movimento durante fins de semana e feriados. Tem-se que criar fontes de renda alternativas para esta época. Durante a temporada, a infra-estrutura da ilha não é suficiente para o número de pessoas que a

visitam. É preciso limitar o número de visitantes nesta época do ano. O lixo e esgoto são um problema sério, não há infra-estrutura adequada para o seu tratamento e isto pode causar sérias doenças. Não existe assistência à saúde adequada, principalmente atendimento permanente e uma farmácia. As escolas são somente para primeiro grau, as demais crianças que necessitam continuar os estudos, tem que frequentar escolas no continente. Em função da educação inferior, a maioria da população nativa está sofrendo desvantagens comparadas com novos moradores, os de “fora”, que abrem estabelecimentos comerciais em grande número na ilha. Falta uma sensibilização dos turistas que visitam a ilha, uma maior conscientização ecológica, considerando os problemas ambientais e sociais do lugar (NIEFER, 2000).

Um grande problema natural de erosão acontece na ilha, o que tende a separar a mesma no istmo entre Nova Brasília e a Praia do Farol. Muitas casas já foram “tombadas” em consequência deste processo. Esta pesquisa tem como objetivo realizar estudos temporais nesta área visando um monitoramento deste processo, com intuito de contribuir nesta área de preservação ambiental, tão importante para a sociedade.

4.1.9 Erosão aspectos gerais

Segundo OLIVEIRA (1998, p. 25) a erosão é um fenômeno causado pela ação combinada de um conjunto de fatores que provoca a desagregação e o transporte de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rocha sobre a superfície terrestre. Dentre os principais agentes causadores estão às águas das chuvas, rios, mares, geleiras e ventos. Entende-se como erosão natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente onde é controlada somente pelos fatores naturais e a erosão acelerada (antrópica) é provocada em consequência, por exemplo, da ocupação urbana, está relacionada à interferência do homem no ambiente natural, provocando o seu desequilíbrio. Quando a erosão antrópica afeta as áreas urbanas traz com ela muitos prejuízos que se refletem nas instalações urbanas, assoreamento nos cursos d’água (aumentando significativamente as enchentes) e muitos outros efeitos

devastadores aumentando cada vez mais o número de catástrofes provocadas por esses fenômenos. O principal fator na deflagração dos processos erosivos constituem as atividades humanas. Uma vez deflagrados pelo uso inadequado do solo, os processos erosivos passam a ser comandados por alguns fatores naturais como, a chuva (através da ação das gotas de chuva e do escoamento superficial), geomorfologia (declividade do terreno e comprimento da encosta) e as características dos materiais inconsolidados (textura, estrutura do solo, composição e a espessura).

Quanto aos efeitos negativos (socioeconômicos) decorrentes da erosão e degradação dos solos decorrentes de ações antrópicas, (OLIVEIRA, 1998, p. 28) classifica algumas consequências dentre elas, a destruição de habitações, de instalações públicas (ruas pavimentadas, redes de abastecimento de água, redes elétricas, etc), assoreamento de cursos d' água e reservatórios, aumento da ocorrência de enxurradas e enchentes, escorregamento de encostas, desvalorização imobiliária, desestímulo de novos investimentos em regiões afetadas, intranquilidade da população, decréscimo da arrecadação, manutenção periódica de sistemas de irrigação e drenagem, entre outras. Em contrapartida o autor também coloca algumas medidas no combate à erosão as quais devem contemplar ações de caráter preventivo e corretivo para seu controle, dentre elas: cartografia geológica, com a caracterização dos terrenos em função de suas propriedades físicas, destacando sua vocação para distintos tipos de ocupação, suas restrições e potencialidades subsidiando planos de uso e ocupação do solo, orientação da implantação de obras de correção das erosões já instaladas, definição das atividades antrópicas deflagradoras dos processos erosivos para seu controle e disciplinamento, implantação de obras de estabilização e drenagem adequados e adaptados para cada caso específico de erosão, dentro dos parâmetros estabelecidos pela engenharia e geotecnia (muros, barramentos, estruturas em gabião, revestimentos, drenagens, etc).

4.1.10 A Erosão Marinha e o Contexto do Litoral Paranaense

Acidentes costeiros decorrem da ocupação indevida dos terrenos litorâneos, cuja deflagração geralmente advém da interferência antrópica nos processos da dinâmica costeira. Dentre eles estão os fenômenos de erosão marinha, adensamentos do terreno, assoreamento e dragagens os quais geram grandes prejuízos aos cofres públicos e riscos às comunidades locais.

A erosão marinha é o processo natural ou induzido pelo homem, regido pela ação das ondas, marés, correntes, ventos ou variações do nível do mar, que resulta no recuo da linha de costa, através da remoção do material sedimentar das praias ou de qualquer outro tipo de material exposto nas falésias. Normalmente o processo é o resultado da ação física dos agentes que atuam sobre a linha de costa, mas fenômenos como os de dissolução através do intemperismo químico, podem ser auxiliares no recuo. O processo oposto, o avanço da linha de costa é chamado de progradação. As variações volumétricas que ocorrem nas praias deveriam ser denominadas de acreção (no caso de aumento) ou erosão (no caso de diminuição), num dado intervalo de tempo (KRUEGER, et. al, 1999, p. 61).

Para uma melhor compreensão deste problema, alguns aspectos devem ser considerados como, o aumento do nível médio dos mares, que tem aumentado em média 0,30 m em 100 anos. Esse fenômeno tem como causas naturais o deslocamento do eixo de rotação da terra, o efeito estufa, que é o buraco na camada de ozônio, provocado pelo uso de produtos biodegradáveis, o qual libera a ação dos raios solares sobre as calotas polares, derretendo o gelo e, conseqüentemente, aumentando o nível dos oceanos. Em regiões costeiras, caracterizadas por uma topografia aplainada, com um litoral constituído por praias arenosas e de baixa declividade, esse aumento no nível do mar propicia uma ação mais efetiva das ondas e marés na linha de costa, culminando com alagamentos e erosão. A interferência antrópica tende a agravar a situação à medida que a ocupação intensificada nas áreas litorâneas desconsidera os fatores naturais que mantêm o equilíbrio das regiões costeiras (movimento das ondas, marés, direção de correntes, ventos, estuários de rios que desembocam na costa, etc.).

Ressalta-se que 60% da população do mundo vive nessa faixa de terra, que representa apenas 1,6% das terras emersas do planeta. Já a ocupação urbana desordenada e a especulação imobiliária levam o homem a ocupar áreas de extrema sensibilidade ambiental, afetando o equilíbrio natural e a hidrodinâmica litorânea. Isso se verifica principalmente na implantação de loteamentos, edificações, ruas, avenidas e obras de infra estrutura muito próximos à linha de costa as quais muitas vezes estão sobre aterramento sujeitas às oscilações de nível das marés e a ação das ondas. Como as ondas tem uma ação erosiva muito forte e tendem a buscar o espaço que lhes foi roubado, causam grandes prejuízos, multiplicando os investimentos na busca de soluções para a contenção do processo (OLIVEIRA, 1998, p. 40).

A erosão marinha, como um risco geológico para o homem, tende a se agravar nos próximos anos, em função do aparecimento, nas últimas décadas de uma filosofia de lazer e turismo voltada para a zona costeira e que resultou na incorporação imobiliária de extensos trechos da linha de costa de muitas regiões do Brasil. Vultuosos empreendimentos na zona costeira com ausência de um planejamento adequado que respeite as limitações impostas pelos fenômenos geológicos contribuem para exacerbar o problema de erosão costeira em algumas regiões brasileiras como: praia Mansa de Caiobá (PR), Ilha do Mel (PR), praia de Boa Viagem (PE), Ilha Comprida (SP).

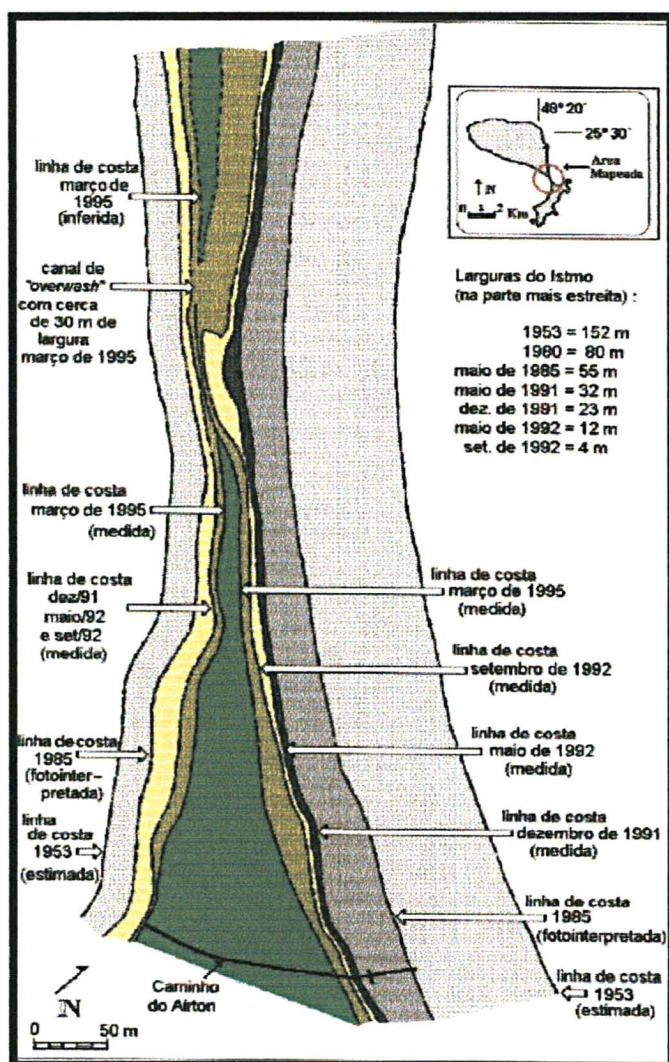
4.1.10.1 A erosão na ilha do Mel

O primeiro trabalho específico sobre a ilha deve-se a FIGUEIREDO (1954) que descreveu aspectos históricos, geográficos, humanos entre outros, além de ter observado a tendência da ilha em se separar em duas pelo seu istmo, que na época media 152 m de largura de preamar a preamar. O primeiro estudo específico sobre a erosão e, com base em dados de campo e levantamentos bibliográficos, inferiram o padrão de distribuição das correntes de deriva ao redor da ilha. Neste trabalho os

autores alertavam ao fato de que, mantido o ritmo de erosão observado na praia das Conchas, restaria pouco tempo para a separação da ilha pelo seu istmo.

PARANHOS F^o. et al. (1994, p. 95) analisaram relatos e fotografias de diferentes datas, concluindo que o istmo apresenta uma tendência erosiva nos últimos 40 anos. Os dados levantados permitiram fazer uma avaliação da largura do istmo ao longo do tempo, cujos resultados foram os seguintes: 152 m em 1954, 85 m em 1980, 55 m em 1985, 47 m em 1987, 32 m em maio de 1991 e 4 m em dezembro de 1992, como ilustra a (Figura 24).

FIGURA 24 – VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA NO ISTMO DA ILHA DO MEL, NOS ÚLTIMOS 40 ANOS

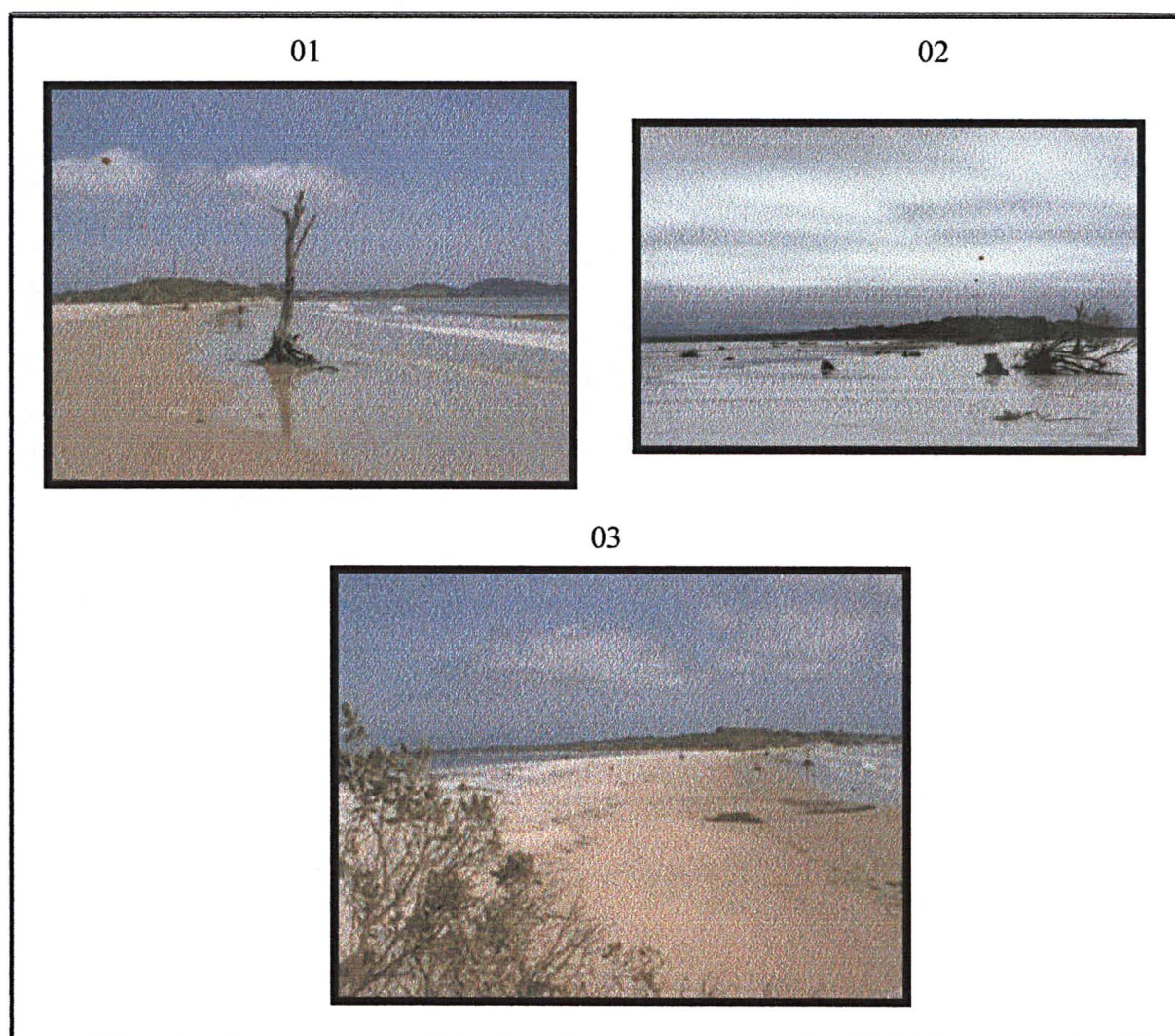


FONTE: (PARANHOS F^o., 1996, p. 95)

A erosão da ilha ocorre tanto no Mar de Dentro como no lado oceânico da ilha, sendo que o processo é mais rápido no lado oceânico da ilha. Opostamente, também ocorre na ilha processos de progradação da linha de costa, através da formação de um esporão (banco arenoso) próximo ao morro do farol das Conchas (KRUEGER et al., 1999, p. 62).

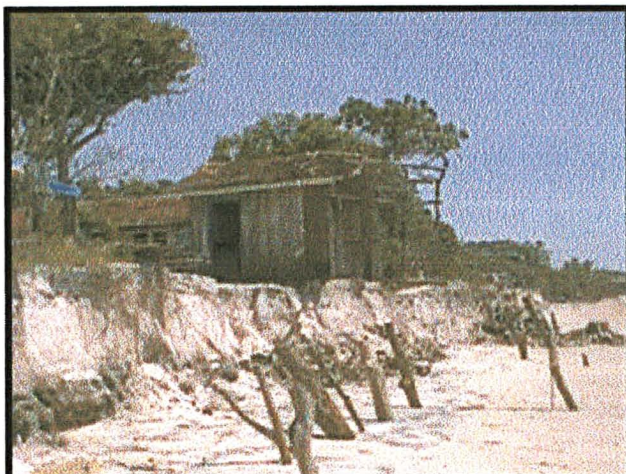
A Figura 25 - fotos 1 a 3 mostram a evolução de uma ressaca no istmo da ilha.

FIGURA 25 – FOTOS 1 A 3 - RESSACA NO ISTMO DA ILHA DO MEL



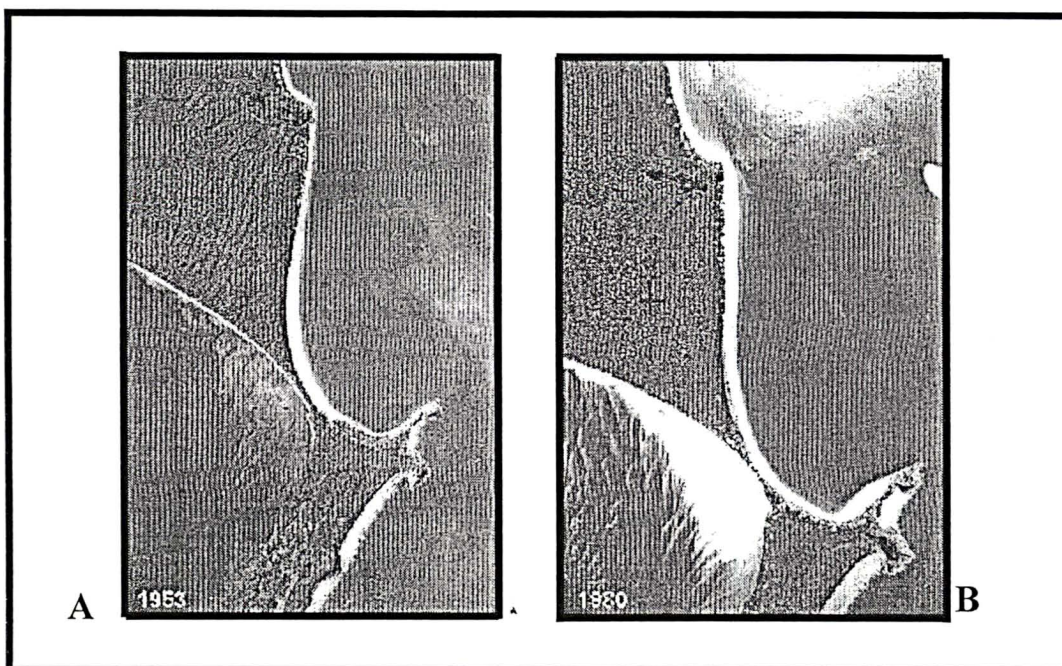
O processo de recuo da linha de costa neste setor, cuja consequência imediata é o tombamento de casas, pode ser facilmente observado como mostra a Figura 26.

FIGURA 26 - PROCESSO EROSIVO NA ILHA DO MEL



O rompimento da ilha ocorreu no verão de 1994/1995, quando a praia das Conchas (no lado oceânico) foi colocada em contato direto com a praia do Saco do Limoeiro (Mar de Dentro). Não ocorreu uma separação concreta da ilha, com a formação de um canal entre as partes separadas, mas houve o desaparecimento da estreita faixa de terraço holocênico vegetado que separava os lados oceânicos e voltado para a baía de Paranaguá (Figura 27). Durante os períodos de maré de sizígia, ou em casos extremos como os eventos das ressacas, a água passa livremente de um lado para outro (KRUEGER et al., 1999, p. 63).

FIGURA 27 - COMPARAÇÃO DE FOTOS AÉREAS DA ILHA DO MEL EM DIFERENTES DATAS: 1953 e 1980. OBSERVA-SE O INÍCIO DA FORMAÇÃO DO ESPORÃO (BANCO ARENOSO) NA FOTO B



FONTE: (KRUEGER et al., 1999, p. 63)

Com relação às causas da erosão, várias hipóteses podem ser formuladas, sem que se chegue a uma conclusão definitiva. Entre elas, pode-se mencionar: (SOARES et al., 1997, p. 108)

- a) as variações da linha de costa nas áreas de desembocaduras de baías no litoral do Paraná são freqüentes e rápidas, estando associadas à dinâmica local, regida pela interação entre ondas, marés e correntes; neste caso, as variações da linha de costa na ilha poderiam ser causadas por estes processos, sem qualquer interferência antrópica;
- b) na desembocadura da Baía de Paranaguá foram efetuadas dragagens em diversas datas, tanto no Canal Sueste (que foi dragado pela primeira vez em 1963, abandonado em 1975) como no Canal da Galheta, atual via de acesso ao porto (dragado quase que anualmente a partir de 1975);

Segundo PARANHOS F^o (1996, p. 4), antigamente o acesso principal a Paranaguá era efetuado pela parte norte da ilha, em curso conhecido como Canal Sueste. Este curso foi abandonado em 1974 por ser estreito, com curvas e conter, no

fundo, afloramentos rochosos que impediam a navegação de navios de maior calado e comprimento. Optou-se na época por um novo curso, ao sul da Ilha do Mel, denominado Canal da Galheta. Entretanto, para sua efetivação, em 1973 foram efetuadas obras de dragagem na região a sudeste da ilha, já em mar aberto, iniciadas em 1973. Com a implantação do canal (em 1974) a região dragada mostrou-se instável, e vem sofrendo rápido processo de assoreamento, fato que obriga a realização de dragagens anualmente. Mais detalhes ver seção (4.1.11).

- c) os volumes totais dragados ao longo dos anos para estes canais são conhecidos, mas não se dispõe, entretanto de informações sobre onde o material dragado foi despejado, pois várias áreas foram utilizadas para tal finalidade, ou mesmo do volume que foi despejado em cada área. Neste caso, tanto as áreas aprofundadas pela dragagem, que poderiam ter interrompido o transporte de sedimentos nas áreas adjacentes à Ilha do Mel, com a diminuição da profundidade nas áreas em que o material foi despejado (alterando o regime de ondas e correntes) poderiam ser responsáveis pelas variações;
- d) poderia haver uma interação entre as duas hipóteses anteriores ou seja, as variações da linha de costa estaria relacionada tanto à dinâmica natural quanto às alterações antrópicas efetuadas nas áreas adjacentes afetando o transporte de sedimentos, gerando *déficits* e *superávits* locais;
- e) O nível relativo do mar poderia estar subindo, embora não haja dados concretos sobre este tópico.

4.1.11 Assoreamentos e Dragagens

Em regiões costeiras, na maioria das vezes essas áreas não oferecem condições naturais satisfatórias para implantação ou mesmo ampliação de áreas portuárias, quer pela pouca profundidade ou por constantes assoreamentos no fundo das baías e estuários, exigindo um planejamento para viabilizar acessos para a navegação, o que demanda áreas com profundidades compatíveis com as embarcações (OLIVEIRA, 1998, p. 47).

Esta seção é pertinente pelo fato de que a Ilha do Mel está situada na entrada do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá sendo que as intervenções antrópicas como dragagens efetuadas periodicamente nesse canal, possa ser uma das causas da deflagração erosiva no istmo da ilha. A dragagem tem trazido muitos problemas no litoral paranaense, especificamente no Canal da Galheta (atual via de acesso ao Porto) e no Canal Sueste (antigo canal de acesso ao Porto). Este canal começou a operar entre 1975 e 1976, com um calado máximo de -12 m. Em 1996, o canal foi aprofundado para -13 m, tendo sido determinado como seu calado máximo 39 pés. Desde a sua abertura definitiva, o Canal da Galheta necessita de dragagens quase que anualmente para a manutenção de seu calado. Na dragagem efetuada em 1996, foi retirado um total de 2.162.075 m³ de material (SOARES, et. al. 1997, p. 41).

As dragagens são efetuadas para compensar o acréscimo de sedimentos de fundo, o que é prejudicial à navegação, sendo uma atividade necessária em ambientes continentais ou marinhos e em determinadas situações, auxiliam para remediar interferências ambientais. Mas, por outro lado tem um impacto ambiental grande. A dragagem consiste na escavação de material do fundo do mar, baías, rios e lagos e sua remoção para outro lugar, com intuito de tornar as profundidades aceitáveis para o acesso de embarcações de grande porte a portos, atracadouros e canais. Quando não bem caracterizadas e dimensionadas, as atividades de dragagem, elas podem trazer muitas consequências, dentre elas:

- a) transformações no padrão de circulação local, fazendo com que muitas vezes o material dragado retorne para os locais mais próximos da costa,

propiciando uma intensa sedimentação ou desestabilização de praias, por meio da erosão, o que afeta o sistema de defesa costeira, além de outras estruturas edificadas;

- b) redução ou acúmulo da qualidade de água costeira, o que por sua vez afeta a fauna bêntica, o plancton e a alimentação e reprodução de peixes e de outras espécies animais e vegetais de importância ecológica ou econômica;
- c) remoção de sedimentos de fundo contaminados e sua relocação e deposição em áreas mais seguras;
- d) alterações na morfologia da costa ou de rios, que podem levar à degradação da qualidade ambiental ou de potencial de lazer das áreas abrangidas pelas obras propostas, com a adiação ou redução de *habitats* para espécies animais e vegetais.

No que se refere ao problema das dragagens e sua destinação final, fazem-se necessárias avaliações sistemáticas e adequadas dos impactos ambientais decorrentes, evitando a degradação ambiental das áreas litorâneas. Mais detalhes ver SOARES, et al. (1997).

5 DESCRIÇÃO E RESULTADOS ALCANÇADOS NOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO EXECUTADOS

Neste capítulo serão listados os equipamentos e materiais empregados nos levantamentos de campo, bem como será apresentada a descrição destes levantamentos, os programas computacionais utilizados na geração dos resultados e também serão discutidas as análises e os resultados alcançados.

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

5.1.1 Equipamentos Utilizados

Nos levantamentos de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) receptores geodésicos da marca *Ashtech Z-XII*, que apresentam as seguintes características principais: operam com 12 canais, possuem portadoras L_1 e L_2 com comprimento de onda completo, aplicam a técnica *P-W Tracking* e apresentam o módulo diferencial, foram também utilizadas antenas de dupla frequência;
- b) 1 sistema de comunicação, caracterizado por um par de rádios da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 35W e 2W, na faixa UHF em FM, com antenas omnidirecionais;
- c) 2 microcomputadores operando no sistema OS-2 e com o programa GNREF/GNRT-K (1 para a estação móvel e 1 para a estação de referência);
- d) computadores do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE), com programas adequados para o pós-processamento dos dados e para a edição dos gráficos e das figuras, bem como para a geração dos MDT.

5.1.2 Programas Computacionais Utilizados

5.1.2.1 GNREF/GNRT-K (para o posicionamento PDGPS)

- a) possibilita a determinação da posição em tempo real por meio da combinação dos dados brutos da estação móvel com as correções transmitidas pela estação de referência;
- b) trabalha em sistema operacional OS-2 em PC e com padrões estandarizados (RTCM, NMEA, RINEX);
- c) o GNRT-K é um módulo para aplicações nos levantamentos cinemáticos de alta precisão em tempo real;
- d) as estações móvel e de referência são equipadas para transferência das correções no formato RTCM++, a qual é realizada por um meio de comunicação, como por exemplo, utilizando a transmissão via rádio;

- e) o GNRT-K apresenta as possibilidades de ambas as estações trabalharem com a fase das portadoras L_1 e L_2 , de resolverem as ambigüidades em tempo real e ainda de avisarem em tempo real quando elas foram resolvidas;
- f) a precisão alcançada em tempo real com o módulo GNRT-K é da ordem decimétrica, segundo documento da empresa Geo++ GmbH. Mais detalhes ver WÜBBENA et. al. (1996).

5.1.2.2 GEONAP-K (para o processamento dos dados)

- a) permite o processamento de dados obtidos de um levantamento estático, estático rápido, cinemático ou pseudocinemático, bem como a utilização de diferentes tipos de receptores e emprega observações GPS não diferenciadas;
- b) obtêm a avaliação das ambigüidades através da combinação dos códigos e da fase das portadoras, do método geométrico, ou através da utilização dos sinais ionosféricos;
- c) permite a realização da combinação linear das portadoras L_1 e L_2 e ainda aplica a técnica *Wide Lane* e *Extra Wide Lane*;
- d) tem como vantagem a apresentação da modelagem dos parâmetros, os quais podem ser estimados simultaneamente, por meio de uma combinação do Método dos Mínimos Quadrados com o Modelo de Gauss-Markov e do Filtro de Kalman;
- e) os parâmetros factíveis de serem estimados são: coordenadas do receptor, erros dos relógios do receptor e do satélite, órbita dos satélites para arcos curtos, atraso do sinal interno no *hardware* do satélite e do receptor, refração ionosférica e troposférica e ambigüidades;

- f) ele é um programa universal, possui caráter científico e exige do usuário capacidade de interpretação e de análise do processamento e dos resultados obtidos.

5.1.2.3 PRISM (para o processamento dos dados)

- a) programa GPS comercial elaborado pela *Ashtech Precision GPS Surveying Software* que permite a preparação e o processamento dos dados brutos bem como o ajustamento das soluções;
- b) procede-se a transferência dos dados do receptor para o computador através do sub programa HOSE;
- c) permite a introdução de parâmetros como: altura da antena, máscara de elevação, coordenadas da estação de referência;
- d) pode-se trabalhar com dados estáticos, pseudocinemáticos, estáticos rápidos e cinemáticos; com um processamento automático e manual;
- e) possibilita a visualização gráfica e tabular da qualidade dos resultados;
- f) para aplicações em navegação precisa, recorre-se ao módulo PNAV (combina os dados de dupla frequência e aplica a técnica *On the Fly* – OTF).

5.1.2.4 SURFER (para a geração e análise dos MDT)

- a) para o processo de geração das grades, tem disponível os interpoladores: inverso da distância, kriging, vizinho mais próximo, método de *Shepard*, vizinho natural, regressão polinomial, função de base radial, triangulação com interpolação linear (seção 3.3);
- b) programa que permite calcular volumes por meio das chamadas fórmulas fechadas de Newton-Cotes que incluem os seguintes métodos de integração numérica: Método Trapezoidal, de Simpson e 3/8 de Simpson;

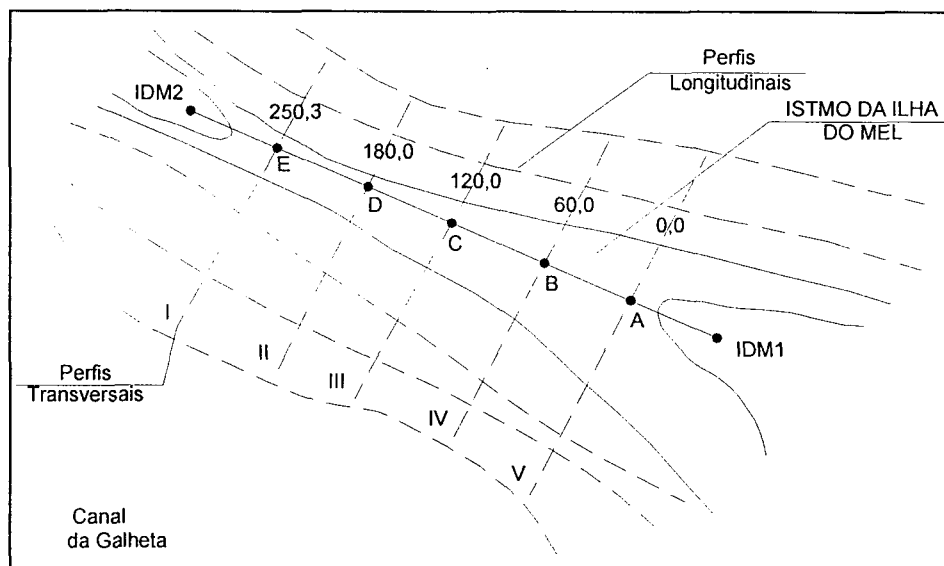
- c) permite a geração e a visualização de produtos cartográficos como: imagens sombreadas ou em níveis de cinza, mapas de declividade e de aspecto, mapas de contorno, mapas em perspectiva tridimensionais, entre outros;
- d) o programa fornece algumas informações num chamado *reporter* de saída (APÊNDICE1) dentre elas: os parâmetros ou valores que definem as superfícies mais altas e as mais baixas, o tamanho do *grid*, espaçamento (resolução), os volumes computados pelos métodos de integração numérica.

Mais detalhes sobre os equipamentos e os programas ver: GEONAP – K (1992); ASHTECH Z-XII (1995); GNRT (1996); SURFER (1999).

5.2 LEVANTAMENTOS REALIZADOS EM 1997, RESULTADOS E ANÁLISES

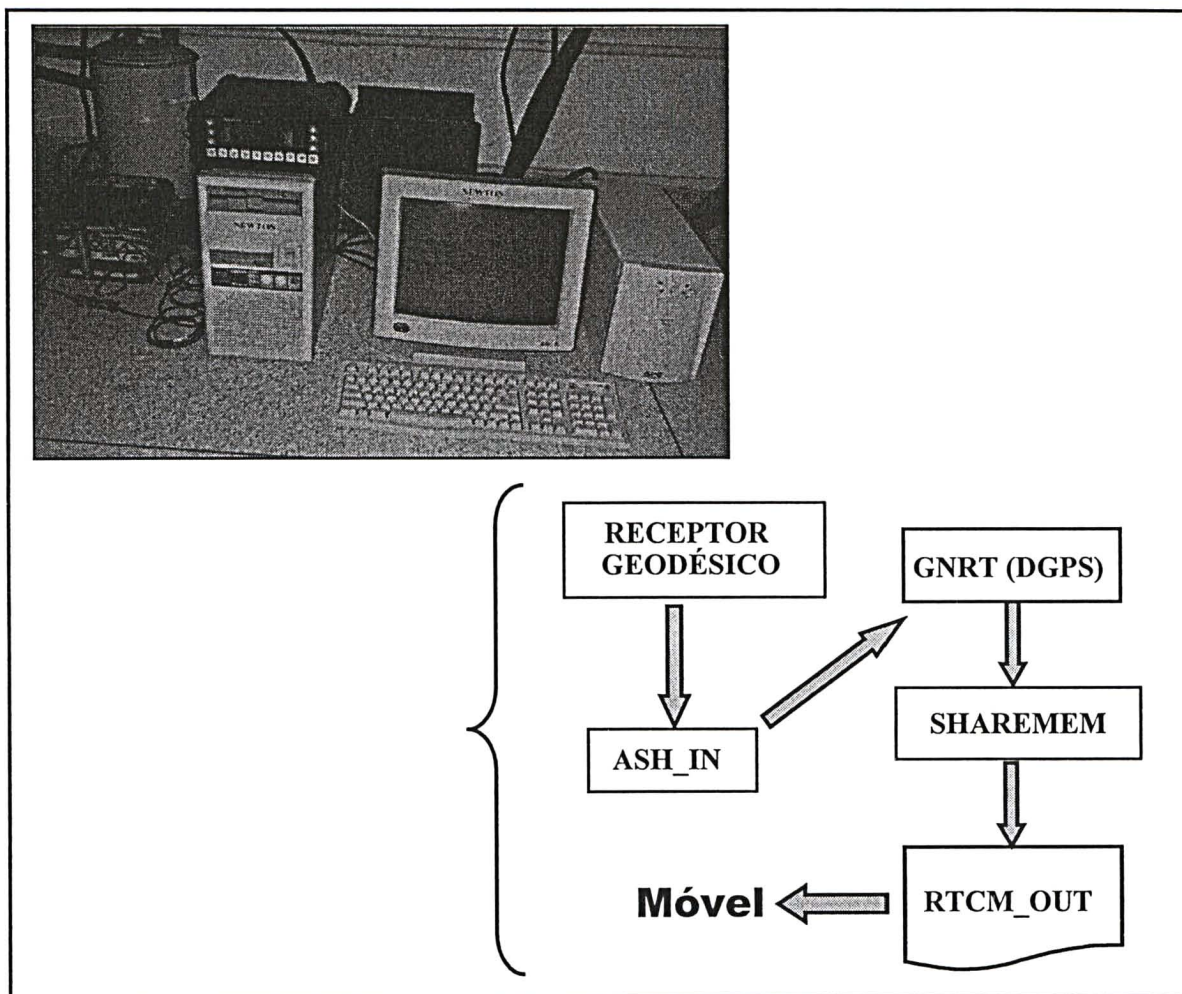
Os levantamentos executados nesta primeira etapa do trabalho fundamentaram-se em técnicas de posicionamento em tempo real, objetivando o levantamento de perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel conforme ilustra as Figuras (28 e 29), por uma estação móvel.

FIGURA 29 - PERFIS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS REALIZADOS NO ISTMO DA ILHA DO MEL



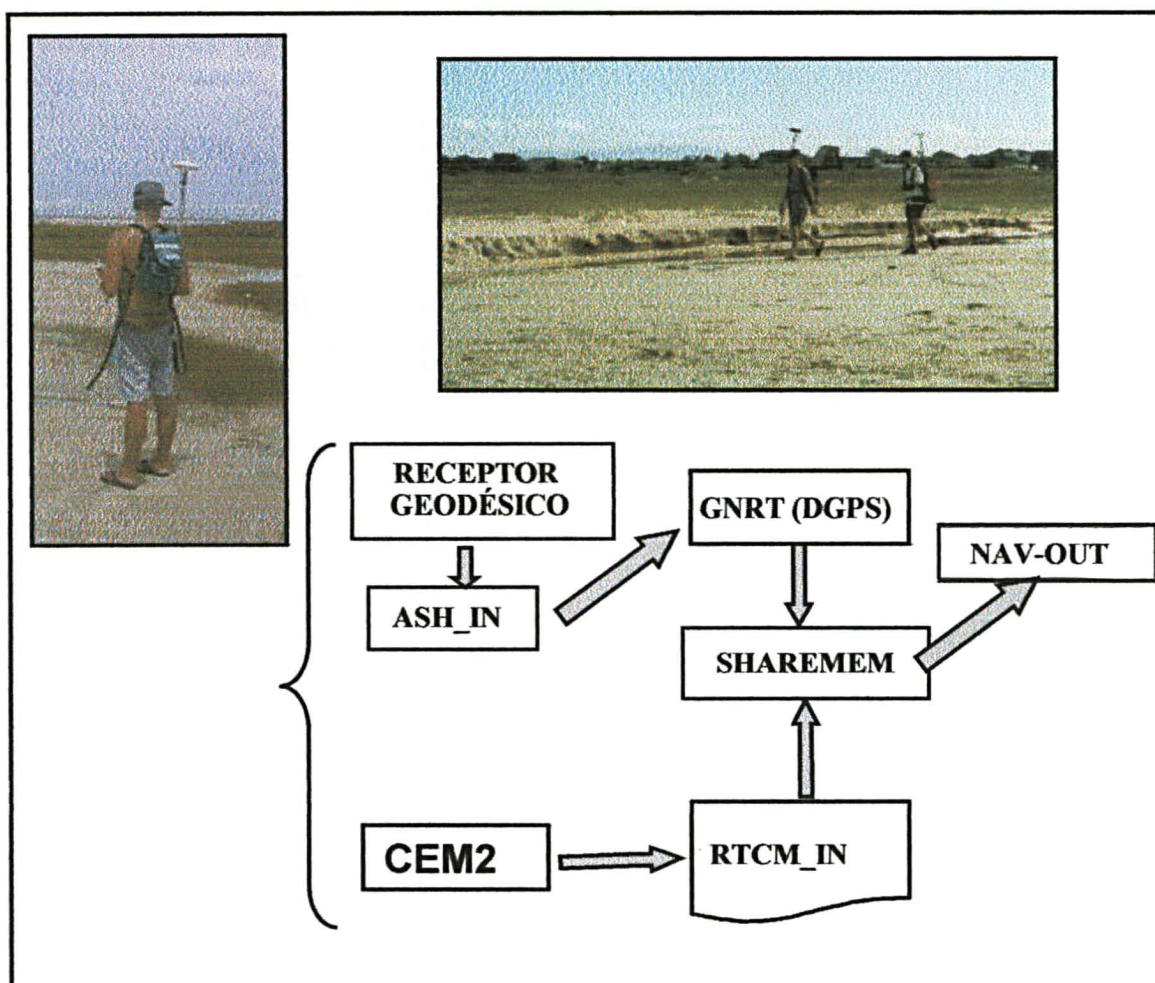
Empregou-se a técnica PDGPS com o programa GNREF/GNRT-K (seção 5.1.2.1). A estação de referência foi instalada no marco CEM2, localizado no Centro de Estudos do Mar. A Figura 30 mostra o esquema dessa estação, na qual foi instalada o programa GNREF (GNRT) que gerou e transmitiu as correções diferenciais no formato RTCM++ para a estação móvel, por um enlace (*link*) de comunicação (rádio da marca *Pacific Crest* operando com uma potência de 35W, na faixa UHF em FM) e um receptor Astech Z-XII recebendo os sinais dos satélites GPS.

FIGURA 30 – ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA INSTALADA NO CEM



A estação móvel (Figura 31) constituiu-se em um pessoa se deslocando ao longo dos perfis indicados na Figura 29, com um receptor Ashtech Z-XII, o enlace de comunicação, (rádio da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 2W, na faixa UHF em FM) e um *laptop*, no qual foi instalado o programa GNRT-K. Ele possibilitou o posicionamento preciso em tempo real da área levantada.

FIGURA 31 – ESQUEMA DA ESTAÇÃO MÓVEL PARA O LEVANTAMENTO DO ISTMO DA ILHA DO MEL



Mediante o levantamento de 1997 dos perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel, foi possível avaliar a precisão alcançada com o programa GNRT-K para os pontos de interseção destes perfis (A, B, C, D, E), Figura 29. No Quadro 8, são observadas as coordenadas geodésicas e os desvios padrão obtidos em tempo real, bem como as diferenças calculadas para esses pontos.

QUADRO 8 – COORDENADAS E DIFERENÇAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA DO ISTMO DA ILHA DO MEL

PTOS	COORD. PERFIL LONGITUDINAL	DESVIOS PADRÃO (m)	COORD. PERFIL TRANSVERSAL	DESVIOS PADRÃO (m)	DIFERENÇAS (cm)
A	25° 32' 25,23834" S 48° 18' 19,96560" W 3,263 m	0,001 0,001 0,002	25° 32' 25,23722" S 48° 18' 19,96602" W 3,300 m	0,005 0,006 0,010	$\Delta\phi = 3,45$ $\Delta\lambda = -1,29$ $\Delta h = -3,70$
B	25° 32' 23,68429" S 48° 18' 21,27153" W 2,912 m	0,001 0,001 0,002	25° 32' 23,67991" S 48° 18' 21,27244" W 2,930 m	0,005 0,006 0,010	$\Delta\phi = 13,50$ $\Delta\lambda = -2,81$ $\Delta h = -1,80$
C	25° 32' 22,13295" S 48° 18' 22,58134" W 2,853 m	0,002 0,001 0,003	25° 32' 22,13536" S 48° 18' 22,58129" W 2,900 m	0,006 0,005 0,009	$\Delta\phi = -7,43$ $\Delta\lambda = 0,154$ $\Delta h = -4,70$
D	25° 32' 20,58115" S 48° 18' 23,8888" W 2,856 m	0,001 0,001 0,002	25° 32' 20,55305" S 48° 18' 23,87179" W 2,913 m	0,005 0,005 0,009	$\Delta\phi = 86,64$ $\Delta\lambda = 52,45$ $\Delta h = -5,70$
E	25° 32' 18,76039" S 48° 18' 25,42218" W 3,223 m	0,002 0,002 0,004	25° 32' 18,76022" S 48° 18' 25,42115" W 3,270 m	0,004 0,004 0,009	$\Delta\phi = 0,52$ $\Delta\lambda = 3,18$ $\Delta h = -4,70$

Verifica-se que em 80% dos casos, as diferenças calculadas para os pontos de interseção dos perfis longitudinais e transversais foram inferiores a 10cm como se observa nos Gráficos 1 e 2.

GRÁFICO 1 - DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS DOS PERFIS LONGITUDINAIS

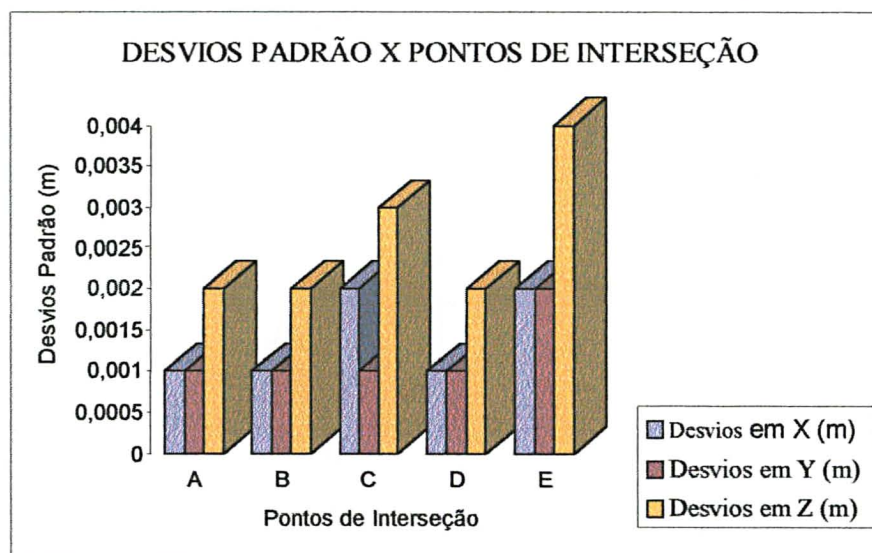
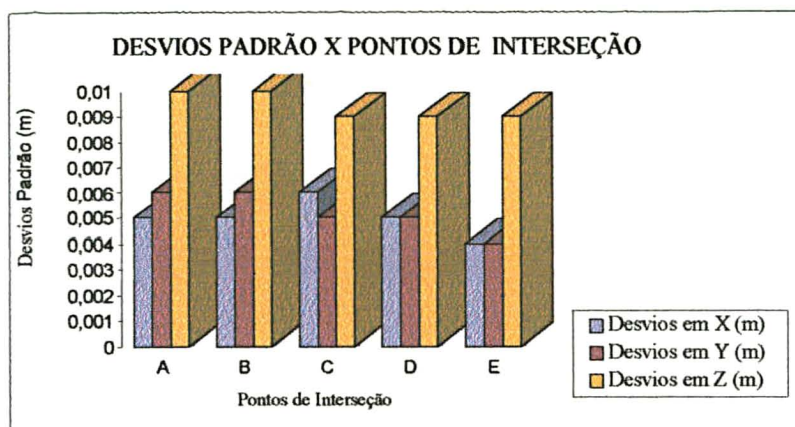
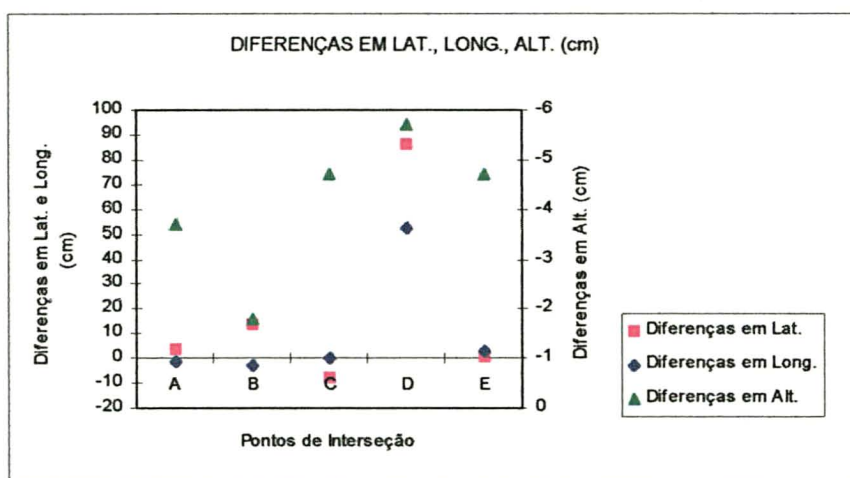


GRÁFICO 2 - DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS DOS PERFIS TRANSVERSAIS

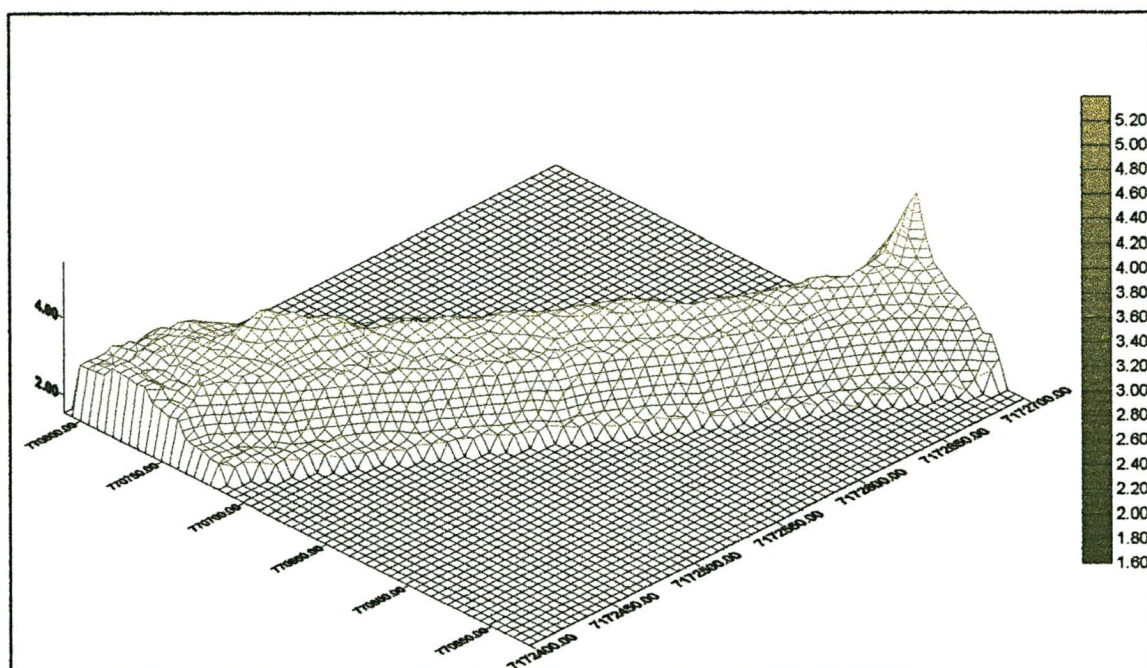


As maiores diferenças ocorreram para o ponto D, provenientes de uma falsa resolução das ambigüidades durante um período de perturbação do sinal GPS. Podendo ser melhor visualizado no Gráfico 3.

GRÁFICO 3 - DIFERENÇAS EM ϕ , λ , H (cm) PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO DOS PERFIS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS

As coordenadas obtidas pelos perfis longitudinais foram obtidas com algumas épocas de observação sobre o ponto. Elas apresentam, conforme o Quadro 8 e o Gráfico 1, menores desvios padrão, indicando uma maior confiabilidade. A partir das coordenadas obtidas em tempo real pela estação de referência CEM2 (Centro de Estudos do Mar) e MOBI (Ilha do Mel), gerou-se o Modelo Digital do Terreno, como está ilustrado na Figura 32.

FIGURA 32 - MODELO TRIDIMENSIONAL PARA O ISTMO DA ILHA DO MEL GERADO A PARTIR DAS COORDENADAS OBTIDAS EM TEMPO REAL PELO GNRT-K



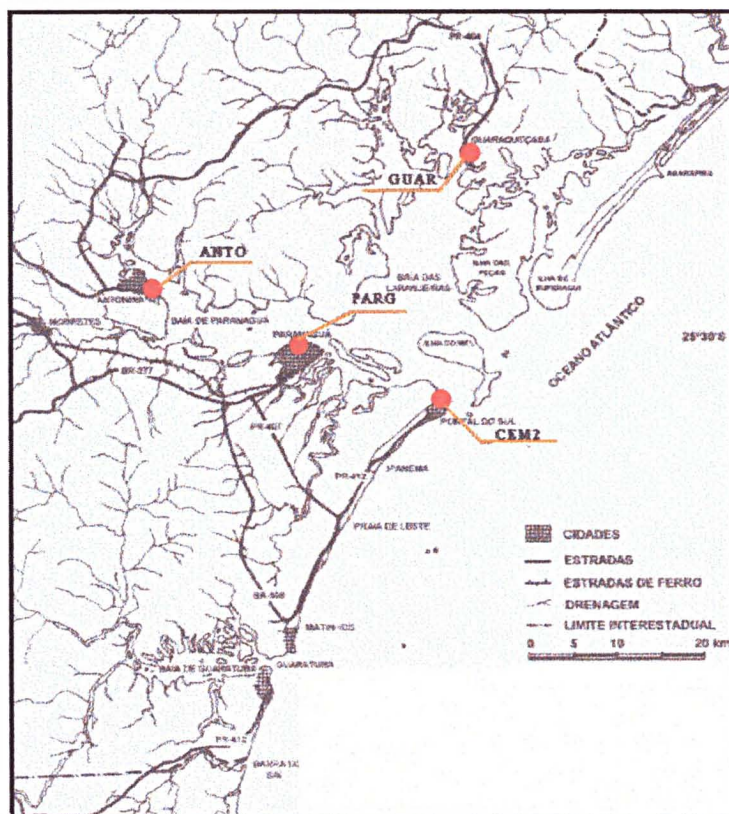
A partir do MDT gerado para o levantamento realizado no istmo em 1997, foi possível calcular o volume da área em estudo. Os procedimentos para o cálculo do volume e as análises de resultados quanto às variações volumétricas entre os anos 1997, 1999 e 2001, serão descritos na seção 5.5.

5.3 LEVANTAMENTOS REALIZADOS EM 1999

Estes levantamentos desenvolveram-se dentro de um projeto de cooperação bilateral entre o Brasil e Alemanha intitulado “Desenvolvimento de Redes de Referência Locais visando aplicações do GPS de Alta Precisão em Tempo Real”. Foram implantadas 4 estações de referência, formando a rede de estações de referência local, com o intuito de posicionar uma estação móvel com alta precisão em tempo real. As estações de referência foram instaladas nas cidades de: Pontal do Sul (CEM2), junto ao Centro de Estudos do Mar (CEM), Paranaguá (PARG), junto a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), Guaraqueçaba (GUAR), junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), Antonina (ANTO), junto a Ponta do

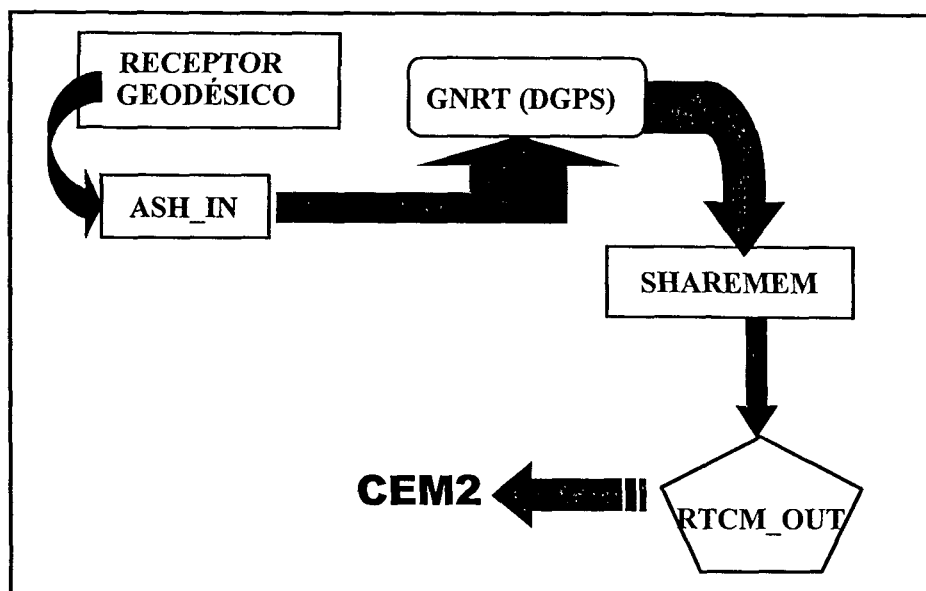
Félix (terminal portuário privativo) e na Ilha do Mel (IDMA). Elas encontram-se indicadas na Figura 33.

FIGURA 33 - ÁREA DE ESTUDO COM A REDE DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA LOCAL IMPLANTADA



O esquema de funcionamento do programa GNREF/GNRT-K/GNNET das estações de referência GUAR, PARG e ANTO pode ser observado na Figura 34. Verifica-se que estas estações através do programa GNREF/GNRT geram as correções que são enviadas por um enlace para a estação de referência principal CEM2.

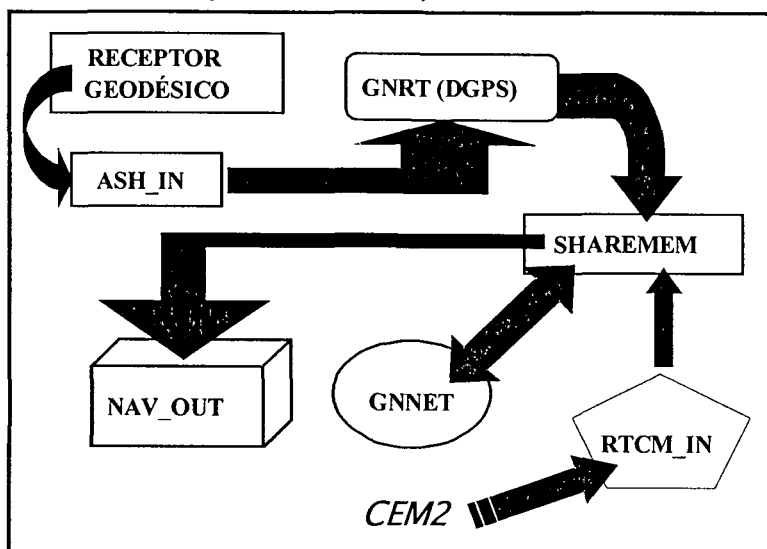
FIGURA 34 – ESQUEMA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA GUAR, PARG E ANTO



FONTE: (KRUEGER, 2001)

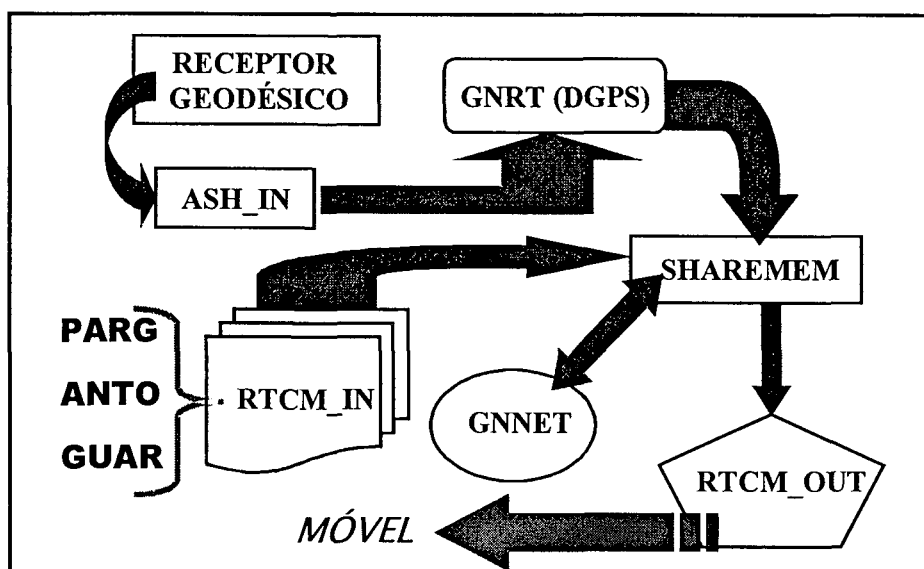
A Figura 35 ilustra o esquema da estação móvel (MOBI). Ela recebe as correções da estação de referência CEM2 (Figura 36), e juntamente com o módulo GNNET, calcula as coordenadas em tempo real e as armazenam num arquivo de saída denominado NAV-OUT, com a possibilidade de escolha do melhor formato para a saída dos dados. Na estação CEM2 empregou-se o módulo do programa GNNET o qual é aplicado em conceitos de redes, pois a estação de referência recebe as correções das demais estações e juntamente com este módulo são geradas as correções a serem enviadas para a estação móvel. Permite calcular o parâmetro de correção de superfície (FKP), para as ambigüidades resolvidas modelando matematicamente os erros na área do levantamento. As estações foram equipadas com receptores Ashtech Z-XII, com um computador, com um sistema de comunicação (4 pares de rádios da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 35W e 2W, na faixa de UHF em FM).

FIGURA 35 – ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA MOBI



FONTE: (KRUEGER, 2001)

FIGURA 36 - ESQUEMA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA CEM2

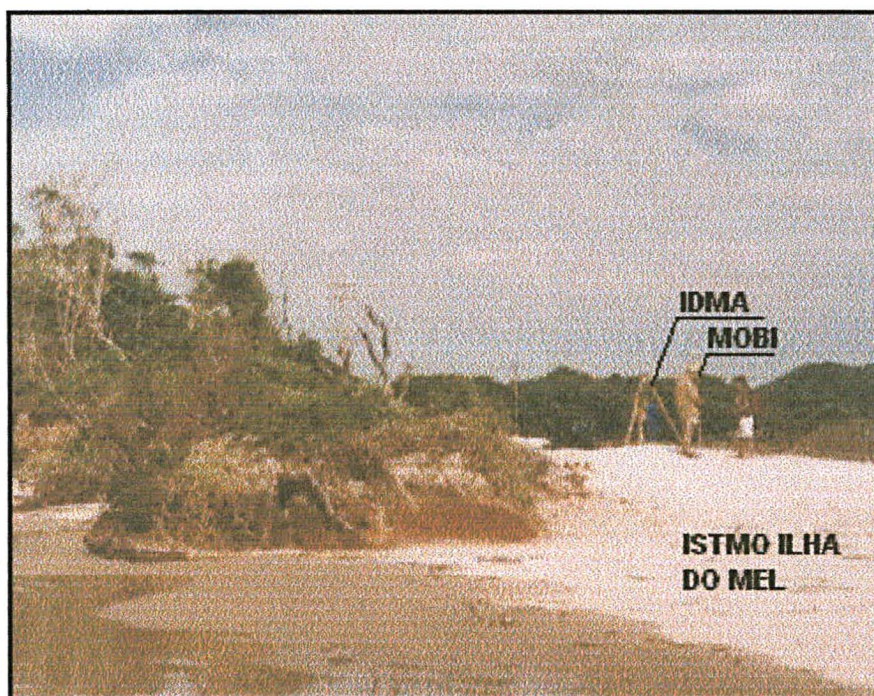


FONTE: (KRUEGER, 2001)

O levantamento do istmo da ilha foi realizado empregando-se as estações de referência PARG, CEM2 e GUAR e também a IDMA instalada na Ilha do Mel (Figura 37). Houve problemas nos sistemas de comunicação impossibilitando a estação CEM2 de desempenhar o seu papel de estação principal. Problemas com energia ocorreram, acarretando na perda dos dados brutos GPS na estação ANTO. No Quadro 9,

encontram-se indicadas as distâncias entre estas estações de referência (IDMA, CEM2, PARG e GUAR) e a estação móvel (MOBI).

FIGURA 37 – ISTMO DA ILHA DO MEL COM AS ESTAÇÕES IDMA E MOBI



QUADRO 9 – DISTÂNCIA ENTRE AS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA E A MÓVEL

ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA	DISTÂNCIA
IDMA	30,5 m
CEM2	5,8 km
PARG	20,1 km
GUAR	26,9 km

Seguiu-se a mesma metodologia para o levantamento de campo do ano de 1997, ou seja, a estação (MOBI) ficou representada por uma pessoa se deslocando com um receptor Ashtech Z-XII e uma antena geodésica marinha, ela percorreu os perfis longitudinais e transversais de forma a cobrir toda a área deste istmo.

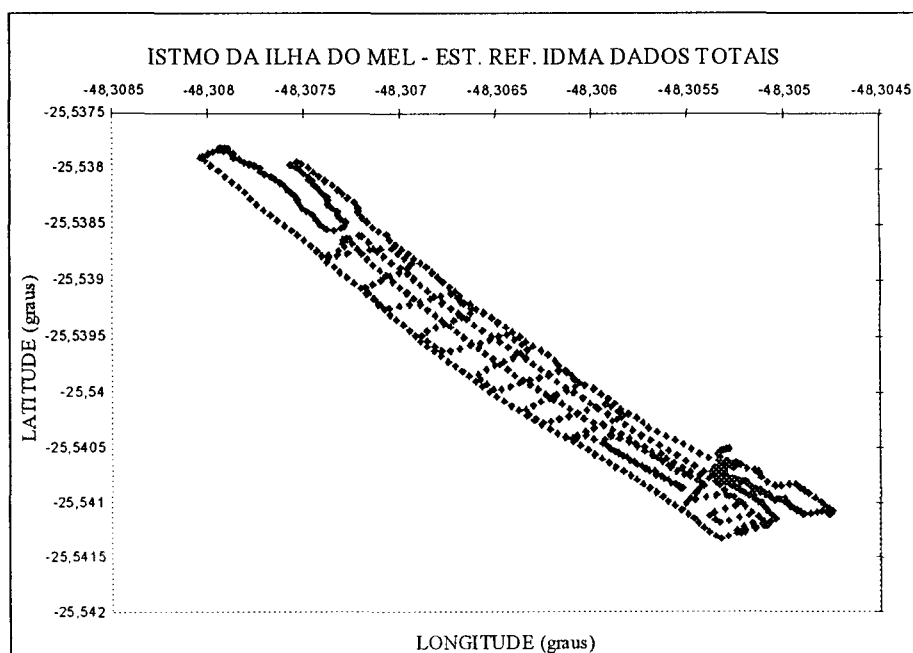
Na estação de referência IDMA foi instalado um receptor geodésico Ashtech Z-XII com uma antena Ashtech geodésica III, armazenando os dados com uma taxa de gravação igual a 5s. Os dados brutos também foram coletados pelas 3 estações de referência (CEM2, PARG e GUAR) e pela estação móvel. Estes dados foram pós-processados com o programa científico GEONAP-K, gerando resultados e propiciando uma análise minuciosa.

5.3.1 Resultados e Análises Obtidos para o Levantamento de 1999

5.3.1.1 Resultados obtidos para a estação MOBI com a estação de referência IDMA

A partir dos dados coletados e pós-processados pelas estações IDMA (Ilha do Mel) e MOBI (móvel) obteve-se a representação do istmo da Ilha do Mel, conforme pode ser observado na Figura 38.

FIGURA 38 – ISTMO DA ILHA DO MEL - IDMA X MOBI

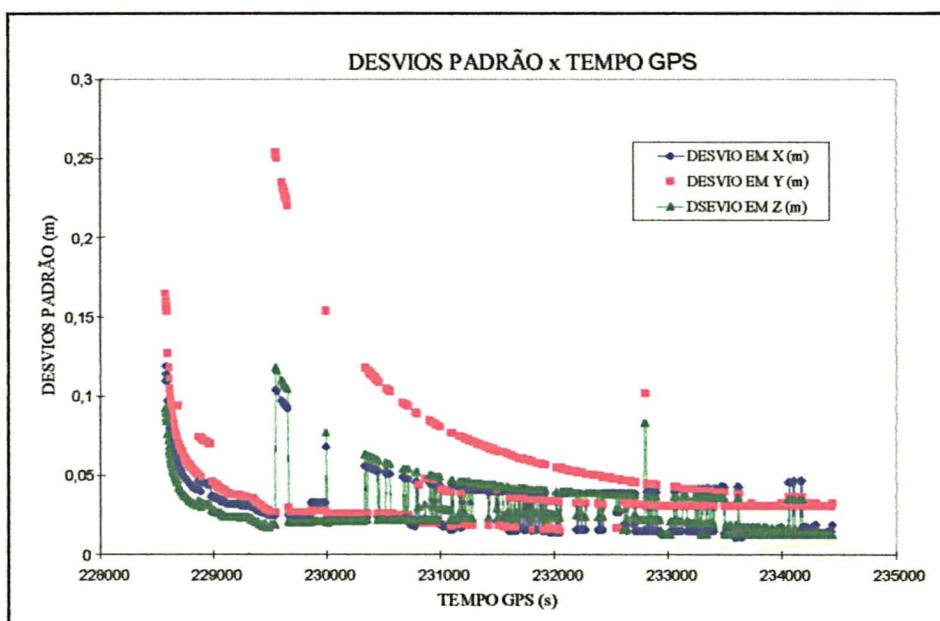


A cada 5s foram obtidas coordenadas geodésicas geocêntricas com os seus respectivos desvios padrão e posteriormente, foram transformadas em coordenadas

geodésicas. O arquivo de saída apresentou 1.184 posições levantadas, contudo considerou-se apenas 1.161 posições em face de que foram desconsideradas 23 posições das 1.184 apresentadas, o que representa apenas 2% do total, ou seja, as demais apresentavam elevados desvios padrão (de 200 a 900m). As posições desconsideradas foram nos instantes iniciais, onde ainda não havia uma resolução das ambigüidades e em alguns instantes onde houve perdas de sinais GPS, por exemplo, por volta dos 229.565s.

Os desvios padrão para as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z) obtidos para as 1.161 coordenadas encontram-se ilustrados no Gráfico 4.

GRÁFICO 4 - DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)



Foi verificado que para um intervalo de tempo GPS de 229.550s a 229.655s o desvio em Y foi da ordem de 25cm, contudo para a maioria do tempo rastreado estes desvios padrão foram inferiores a 10cm, indicando a qualidade nos resultados obtidos. A elevação destes desvios foi maior nos segundos iniciais, fato este devido à busca na resolução das ambigüidades e nos segundos 229.550 a 229.655 provavelmente devido alguma perda de sinal GPS ocorrida neste intervalo de tempo.

5.3.1.2 Resultados obtidos para a estação MOBI com as estações de referência PARG, GUAR E CEM2

A estação CEM2 (Centro de Estudos do Mar/Pontal do Sul) e MOBI (Ilha do Mel), descritas na seção 5.2 e que distam entre si cerca de 5,8km (Quadro 9), geraram 5.700 coordenadas neste levantamento para o istmo. Houve uma superabundância de informações, devido ao fato de que a taxa de gravação dos dados nestas estações foi igual a 1s.

Mediante uma análise dos desvios padrão obtidos para as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z) com o pós-processamento dos dados optou-se pela eliminação de 302 coordenadas do arquivo de saída, que representam apenas 5% do total, restando 5.398 posições para o levantamento deste istmo. Estas posições descartadas apresentaram desvios padrão superiores a 1 metro (variaram de 1,1m a 1.200,00m). Estes valores elevados ocorrem nos instantes iniciais do levantamento e quando houve a perda de sinais GPS. Estas perdas não são significativas pelo fato de se tratar de um posicionamento cinemático, no qual há uma maior probabilidade de ocorrerem perdas de sinais e uma maior dificuldade na determinação das ambigüidades inteiras.

Observando-se as Figuras 39 e 40, constata-se que grande parte das posições desconsideradas estão em um dos perfis longitudinais. Ele foi o primeiro perfil a ser percorrido durante o levantamento do istmo da ilha. Nesta etapa inicial o programa procura a fixação das ambigüidades e só após a determinação dos inteiros destas ambigüidades ele possibilita a obtenção de coordenadas precisas.

FIGURA 39 – ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2

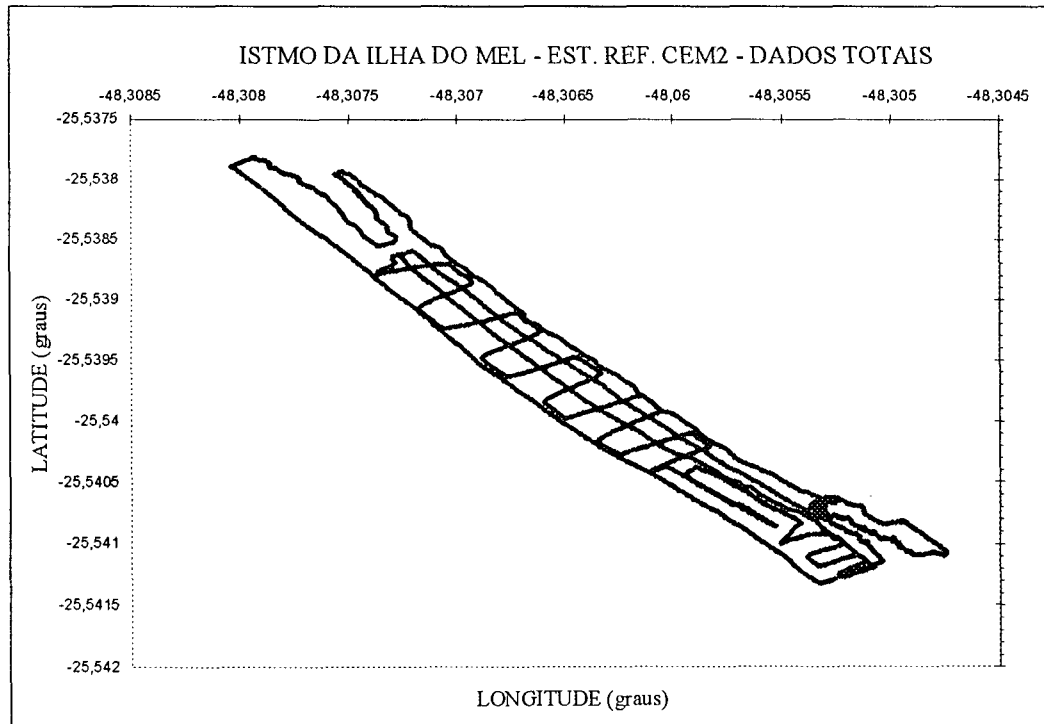
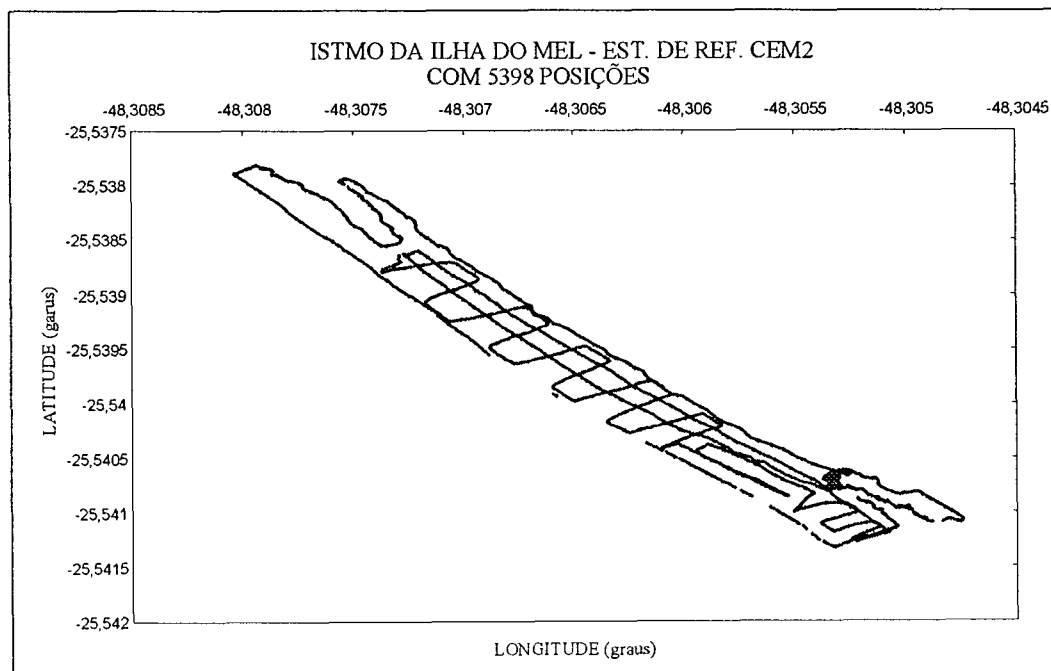
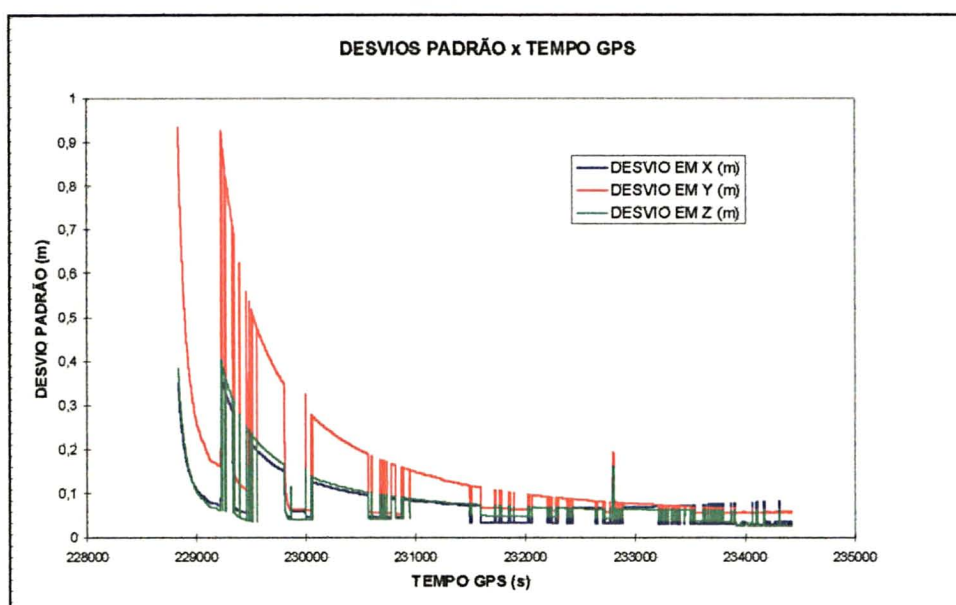


FIGURA 40 – ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2 COM AS 5.398 POSIÇÕES



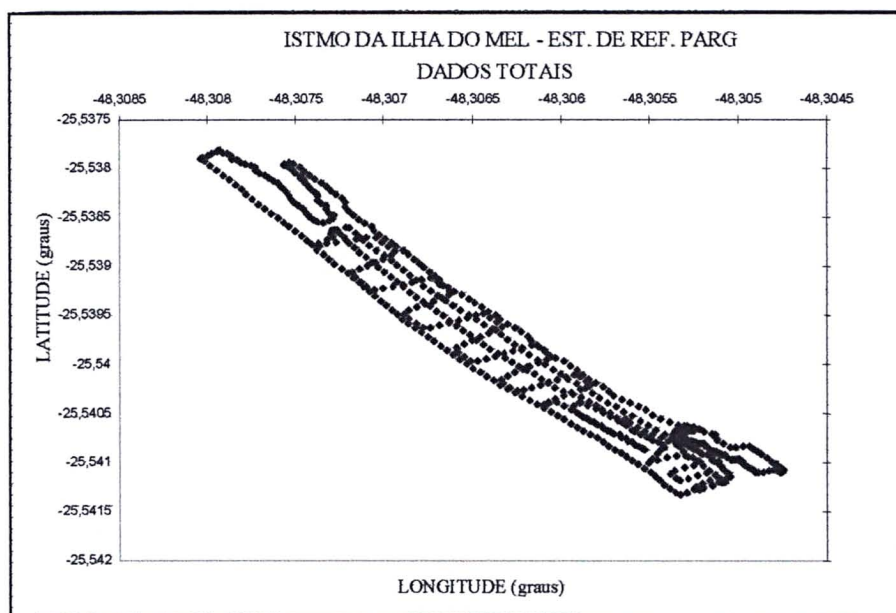
Os desvios padrão para as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z) obtidos para as 5.398 coordenadas após os minutos iniciais deste levantamento, convergem para valores inferiores a 20cm e, posteriormente, mantêm-se inferiores a 10cm (Gráfico 5).

GRÁFICO 5 – DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)



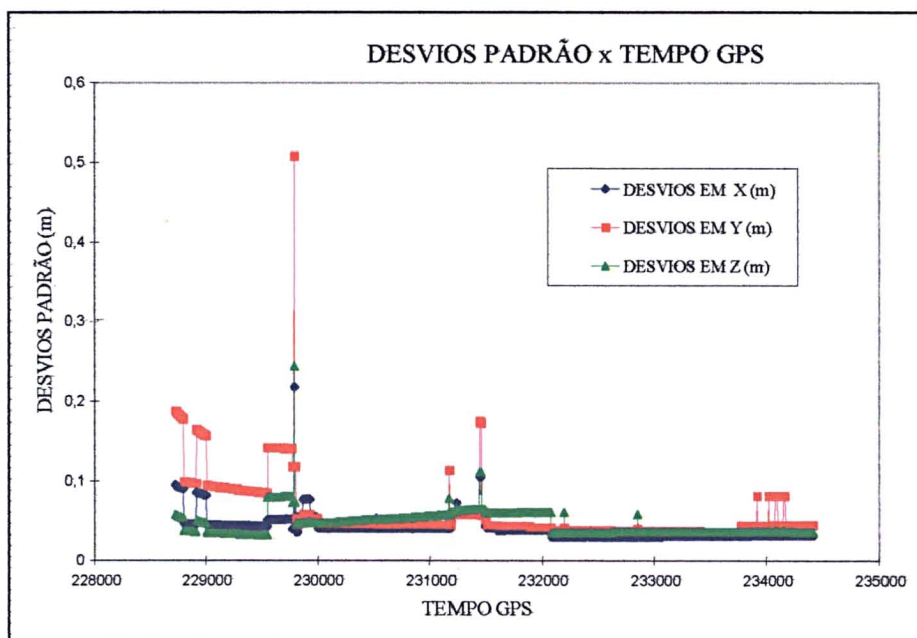
As estações PARG (Paranaguá/Silo do Porto de Paranaguá) e MOBI (Ilha do Mel), descritas na seção 5.2 e que distam entre si cerca de 20,1km (Quadro 9) possibilitaram a obtenção de 1.400 coordenadas no levantamento deste istmo (Figura 41). Foi empregada uma taxa de gravação dos dados na estação PARG igual a 5s. Não houve necessidade de se eliminar coordenadas pós-processadas, pois os desvios padrão foram inferiores a 50cm (Gráfico 6). No tempo GPS igual a 229.790s verifica-se um desvio em Y igual a 50,8cm, observam-se também alguns outros picos, inferiores a 20cm, para os desvios padrão em Y, contudo em uma maioria eles foram inferiores a 10cm.

FIGURA 41 –ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PARG



Comparando-se a Figura 41 com a Figura 38, verifica-se que a representação deste istmo é semelhante a mesma.

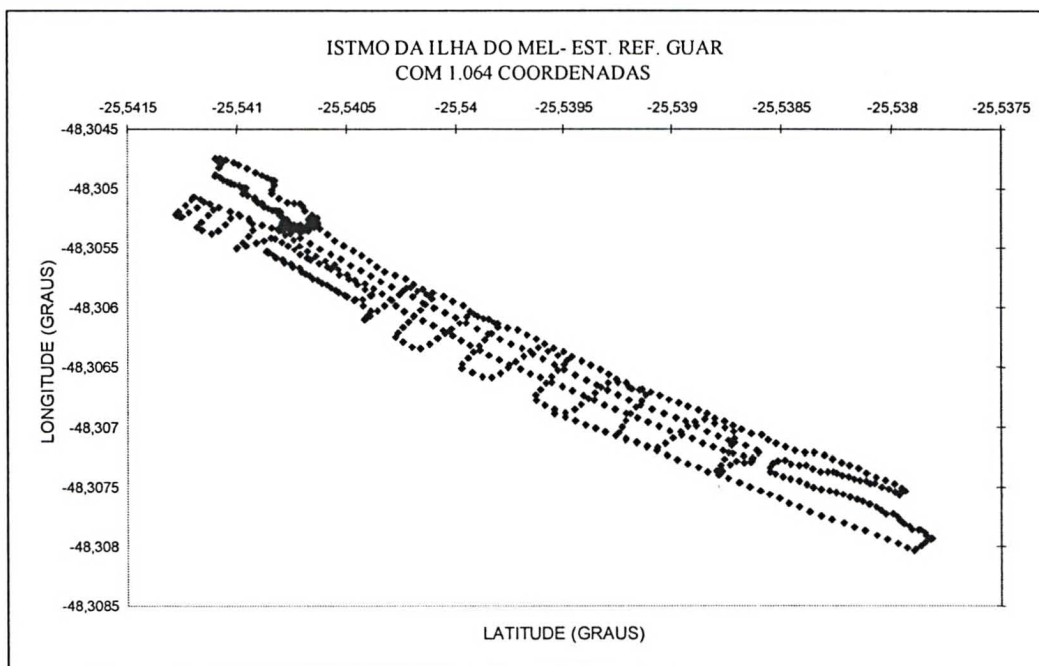
GRÁFICO 6 – DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)



O istmo da Ilha do Mel gerado com o emprego das estações GUAR (Guaraqueçaba) e MOBI (Ilha do Mel), descritas na seção 5.2 e que distam entre si cerca de 26,9km possibilitaram a obtenção de 1.164 coordenadas, contudo manteve-se

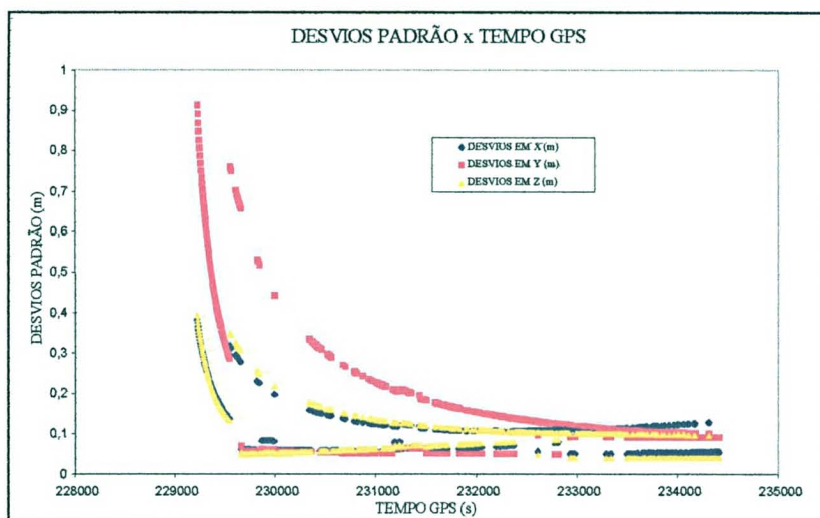
apenas 1.024 após a análise dos desvios padrão obtidos para as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z). Houve uma perda de 11% das coordenadas calculadas deste levantamento realizado no istmo. Esta perda foi a mais significativa dentre as ocorridas nas estações de referência (IDMA, CEM2 e PARG). Empregou-se uma taxa de 5s para a gravação dos dados na estação GUAR (Figura 42)

FIGURA 42 – ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA GUAR



No Gráfico 7, observam-se os desvios padrão obtidos para as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z). Constata-se que os valores mais elevados ocorreram nos minutos iniciais do rastreo, convergindo para valores inferiores a 20cm após alguns minutos de rastreo.

GRÁFICO 7 – DESVIOS PADRÃO EM X, Y E Z (m)



5.3.1.3 Correlação espacial

Mediante a análise de alguns gráficos pode-se verificar a correlação espacial neste levantamento. A Figura 43 ilustra a rede de referência local implantada no litoral paranaense. A fim de se visualizar mais este efeito, efetuou-se a análise das posições obtidas com as 3 estações de referência (CEM2, PARG e GUAR) e a IDMA para um mesmo instante de tempo GPS (segundos) deste levantamento, nos Gráficos 8 a 11. Observa-se estas posições com os devidos desvios padrão bidimensionais (planimétricas).

FIGURA 43 – REDE DE REFERÊNCIA LOCAL

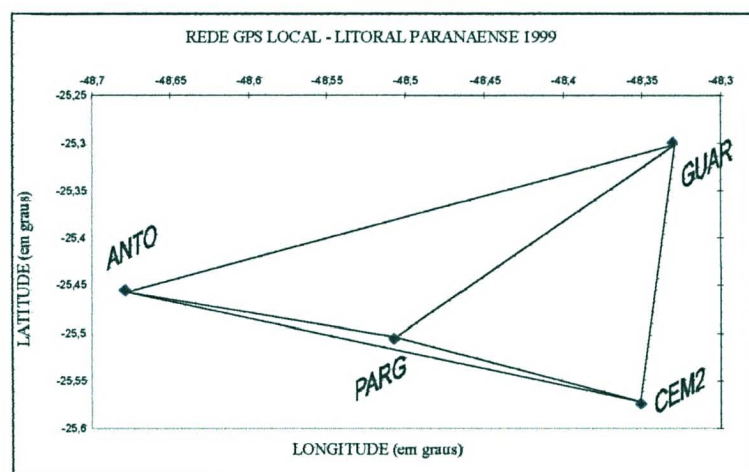


GRÁFICO 8 - POSIÇÕES PARA O TEMPO 232000s E SEUS DESVIOS

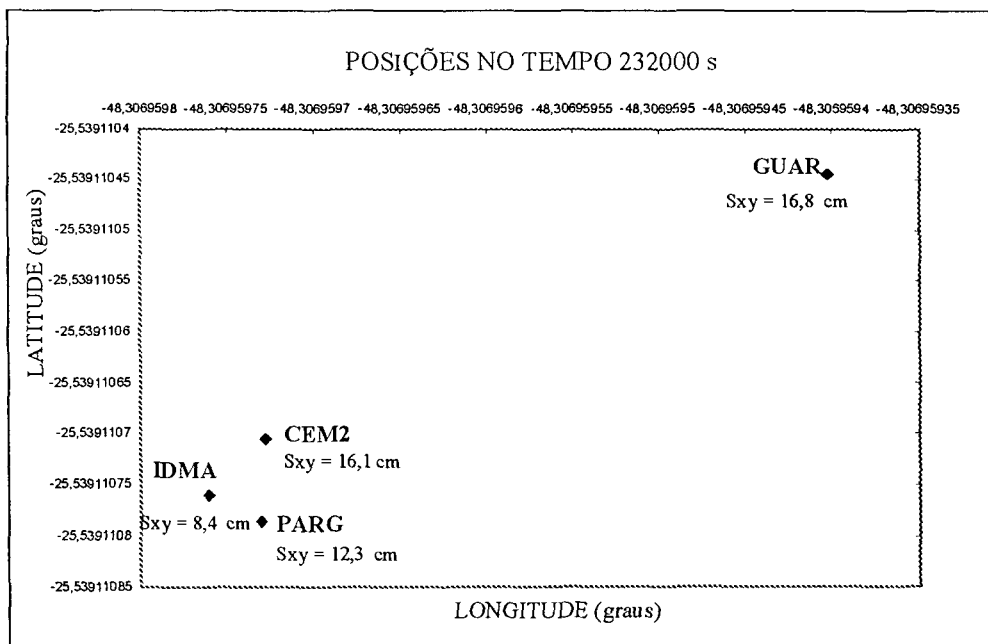


GRÁFICO 9 - POSIÇÕES PARA O TEMPO 233350s E SEUS DESVIOS

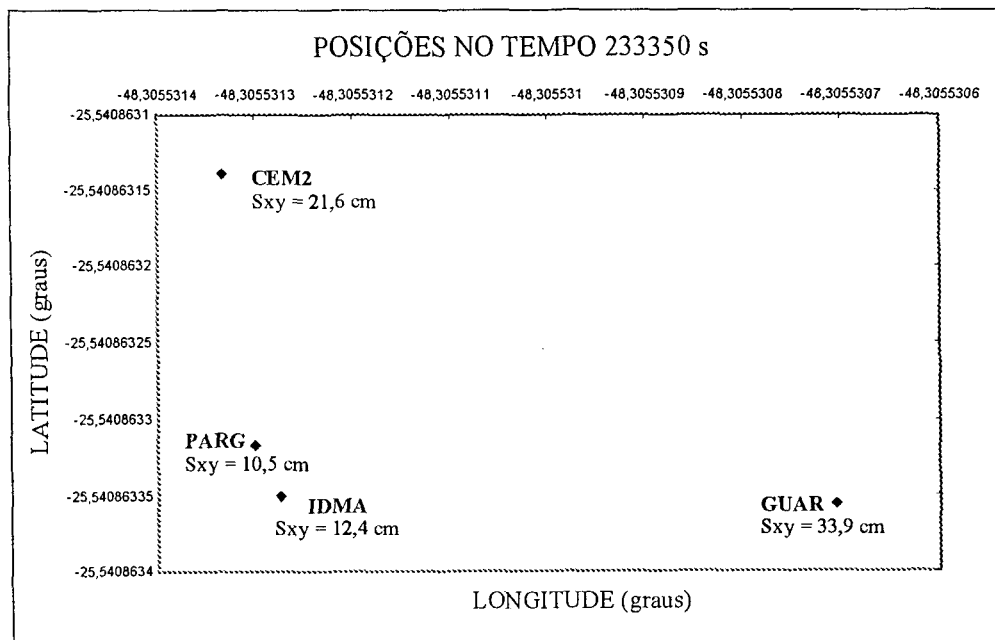


GRÁFICO 10 – POSIÇÕES PARA O TEMPO 234075s E SEUS DESVIOS

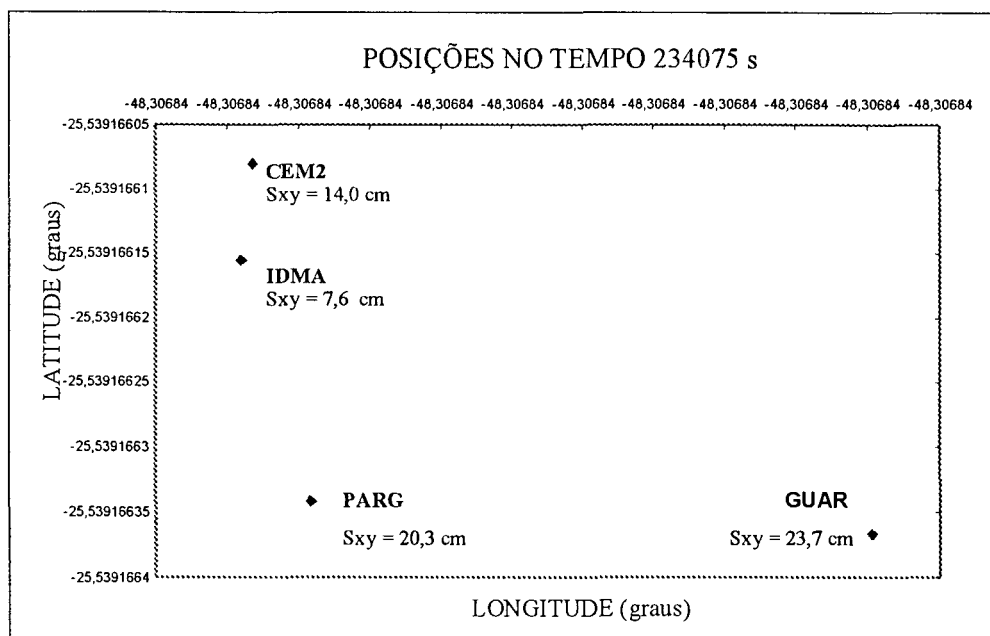
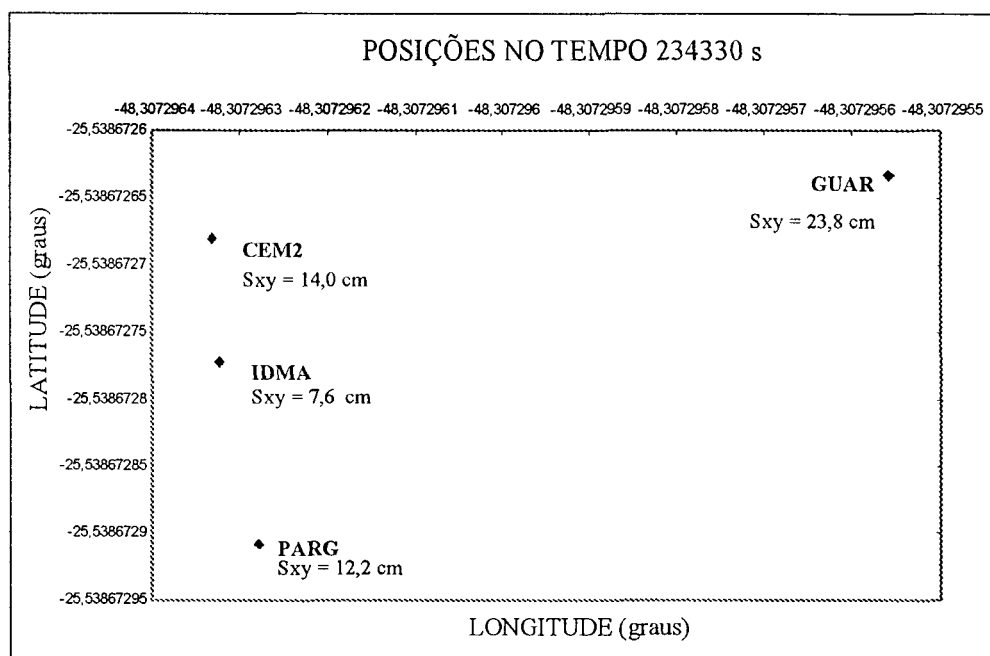


GRÁFICO 11 – POSIÇÕES PARA O TEMPO 234330s E SEUS DESVIOS



Analisando-se os Gráficos de 8 a 11 constata-se que a estação GUAR que dista 26,8km (Quadro 9) apresenta as posições mais distantes das outras coordenadas obtidas com as outras estações de referência (IDMA, CEM2, PARG), indicando claramente a correlação espacial existente. Nos Gráficos 10 e 11, o efeito da correlação espacial também fica evidenciado para as posições dos dados da estação de

referência PARG com a estação móvel (MOBI). Elas distam entre si de 20km (Quadro 9). Já as estações de referência IDMA e CEM2 distam da estação MOBI de 30,5m e 5,8km respectivamente, indicando um efeito menor de correlação espacial. Admitindo-se que as coordenadas obtidas com o pós-processamento dos dados coletados pelas estações IDMA e MOBI são as precisas, calcularam-se as diferenças entre estas coordenadas (latitude, longitude e altitude) e as obtidas com as estações CEM2, PARG e GUAR. As diferenças obtidas para as latitude ($D\phi$), longitude ($D\lambda$) e altitude (Dh) encontram-se indicadas nos Gráficos 12, 13 e 14, respectivamente. Para $D\phi$ (Gráfico 12), elas estão entre 1cm e -10cm; para $D\lambda$ (Gráfico 13), elas estão entre 2,5cm e -4cm e para Dh (Gráfico 14), elas são inferiores a -30cm. Nestes Gráficos verifica-se que as maiores diferenças ocorrem para as coordenadas com a estação GUAR, mostrando mais uma vez o efeito da correlação espacial.

GRÁFICO 12 – DIFERENÇAS EM LATITUDE EM ALGUNS INSTANTES GPS

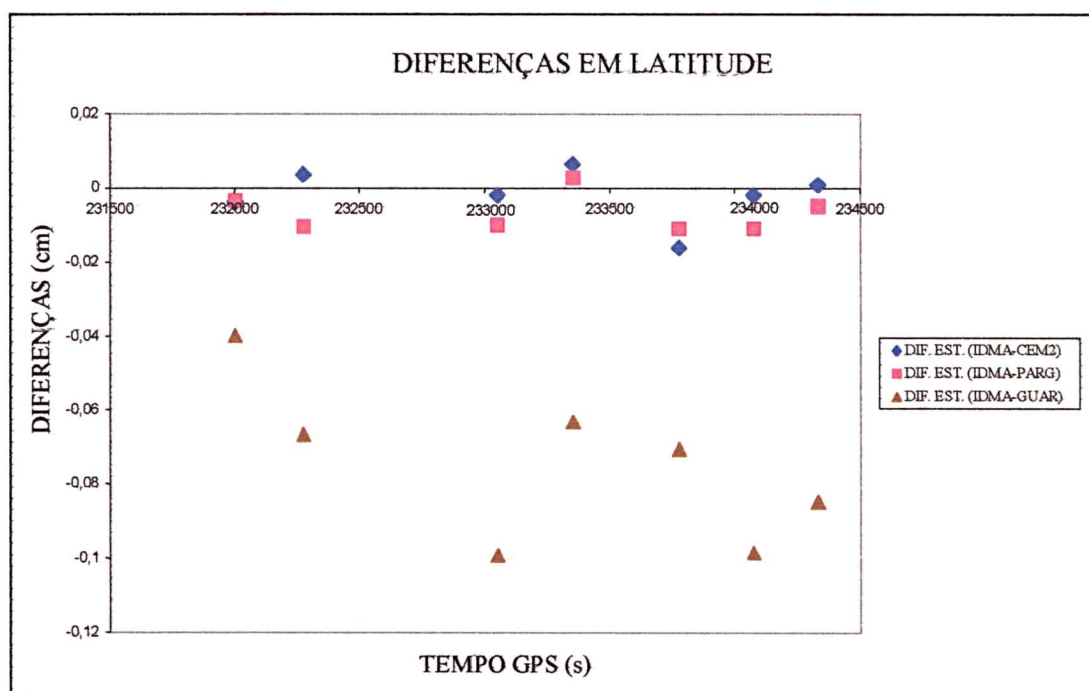


GRÁFICO 13 – DIFERENÇAS EM LONGITUDE EM ALGUNS INSTANTES GPS

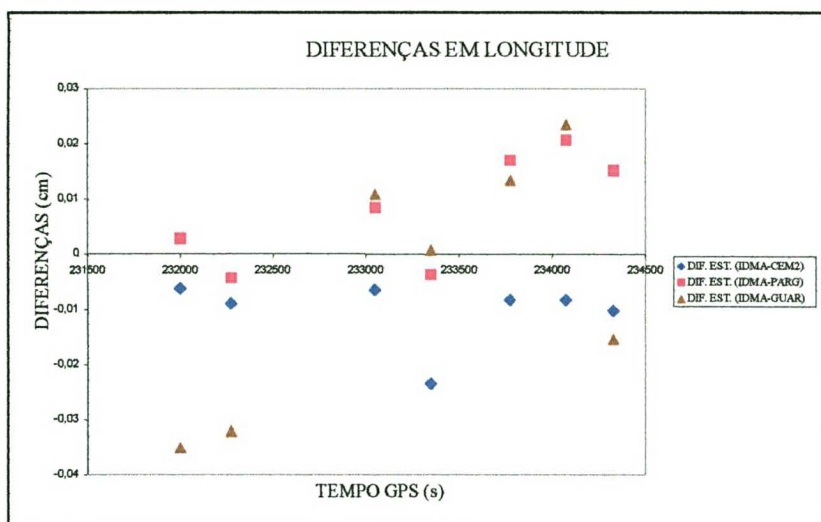
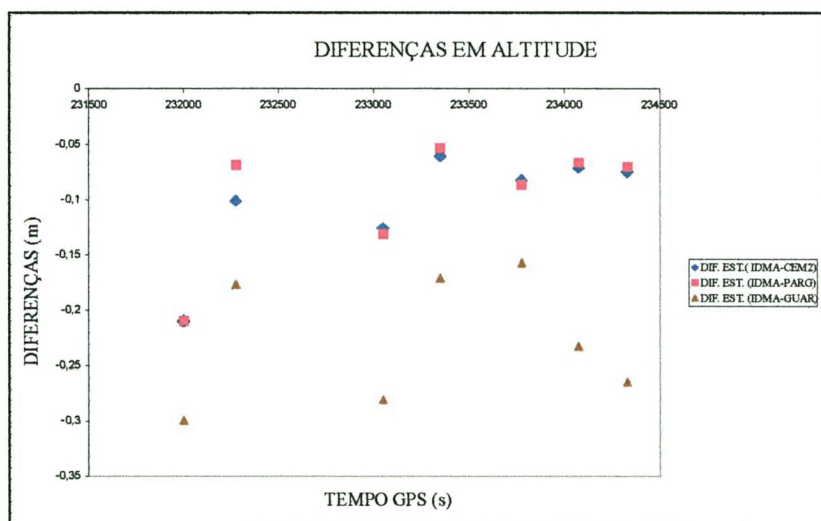


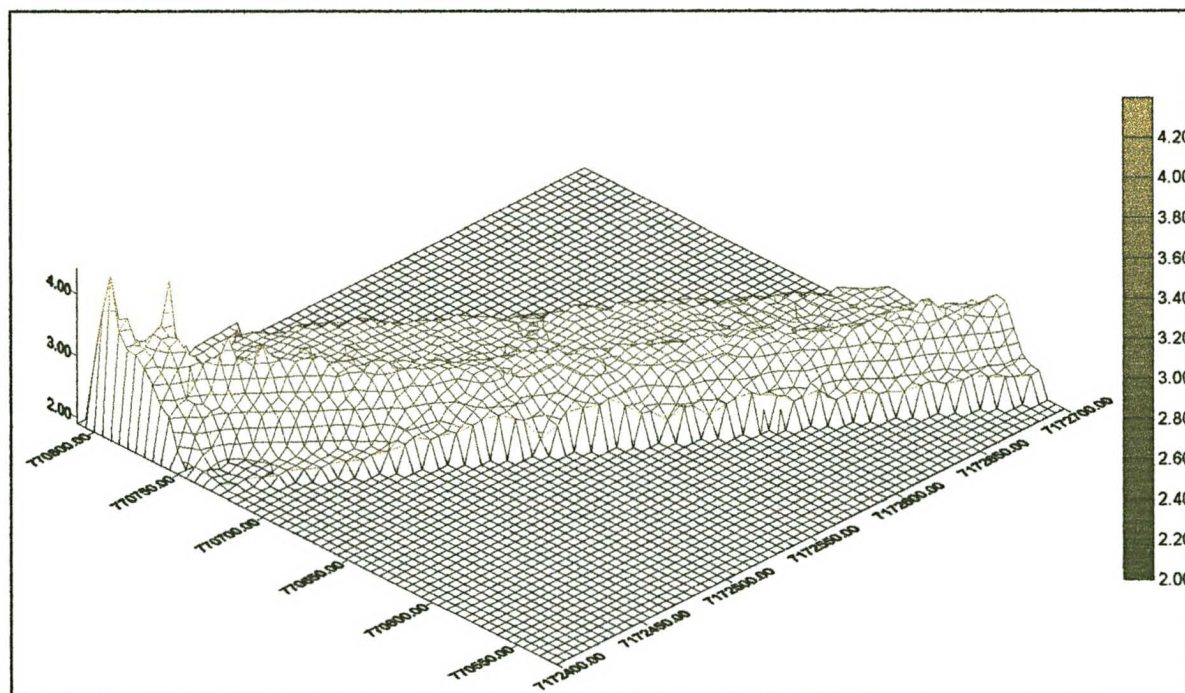
GRÁFICO 14 – DIFERENÇAS EM ALTITUDE EM ALGUNS INSTANTES GPS



Verificou-se que as posições calculadas para o istmo da Ilha do Mel empregando-se a estação de referência IDMA apresentaram os menores desvios padrão e com a estação de referência GUAR valores mais elevados. Também se verificou que a proporção das coordenadas calculadas em função das coordenadas desconsideradas foi maior à medida que a estação de referência encontrava-se mais distante da estação móvel. Tais fatos evidenciam claramente o efeito da correlação espacial. Com as posições calculadas para o istmo da Ilha do Mel, foi gerado o Modelo Digital do Terreno (Figura 44) para a estação de referência CEM2 a qual foi

considerada como estação de referência principal para a determinação das variações volumétricas ocorridas neste istmo entre as diferentes épocas. O procedimento do cálculo do volume bem como as variações volumétricas obtidas entre as épocas 1997, 1999 e 2001, encontram-se na seção 5.4.

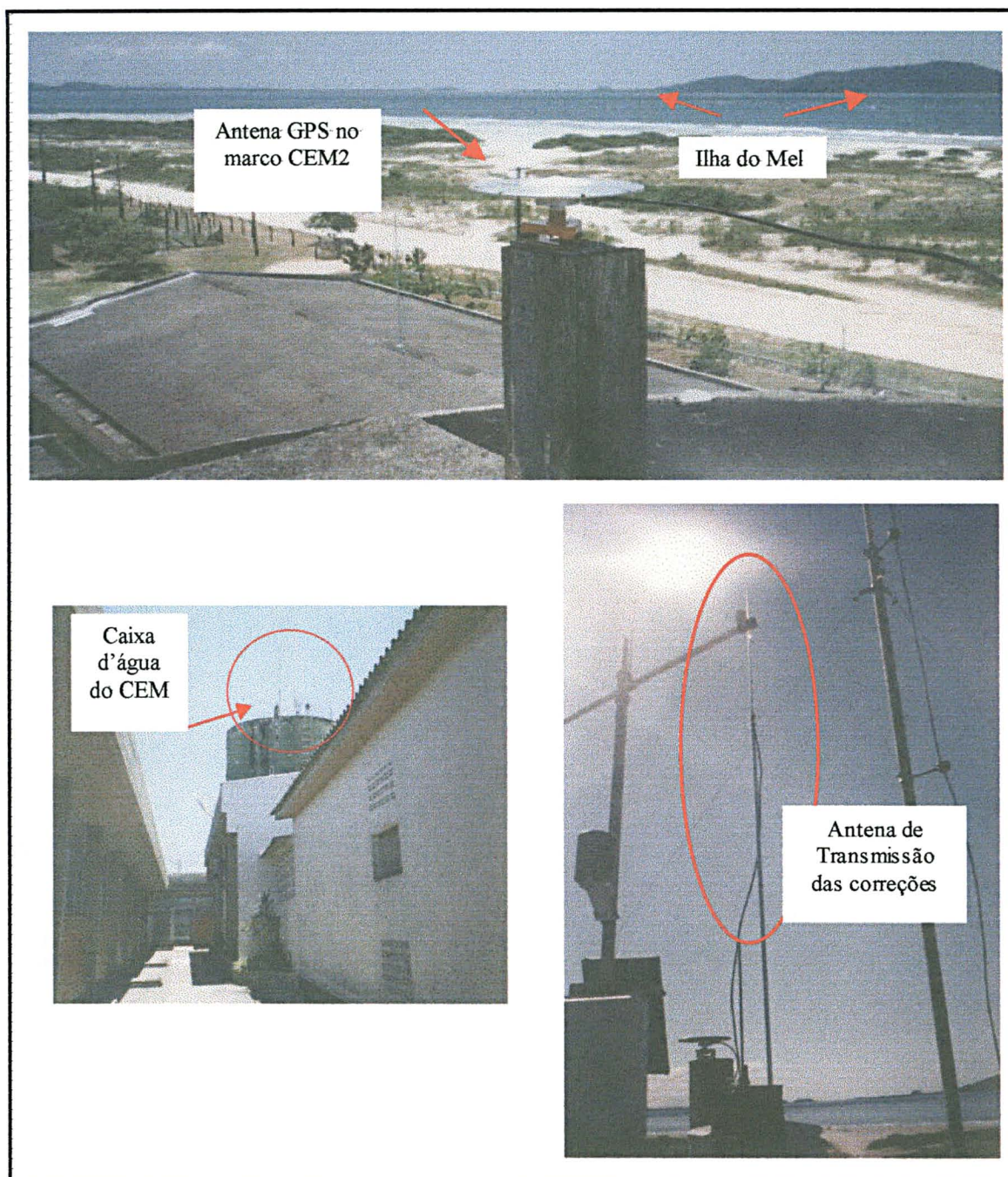
FIGURA 44 – MDT DO ISTMO DA ILHA DO MEL PARA A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2



5.4 LEVANTAMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES REALIZADOS EM 2001

Os levantamentos deste ano seguiram a mesma metodologia de campo executada em 1997 e 1999, realizando perfis longitudinais e transversais ao longo de toda a área do istmo. A estação de referência foi o marco CEM2, localizado na caixa d'água do CEM (Figura 45).

FIGURA 45 – ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MARCO CEM2



Na estação de referência foram instaladas uma antena GPS Geodésica III e o sistema de comunicação (rádio de transmissão da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 35W na faixa UHF em FM). No laboratório de Oceanografia instalou-se um computador, receptor Ashtech Z-XII e o programa GNREF/GNRT-K.

A estação MOBI (Figura 46) consistiu de uma pessoa se deslocando ao longo dos perfis transversais e longitudinais, com um receptor Ashtech Z-XII, uma antena GPS, um *laptop* no qual foi instalado o programa GNRT-K e um sistema de comunicação (rádio com 2W de potência).

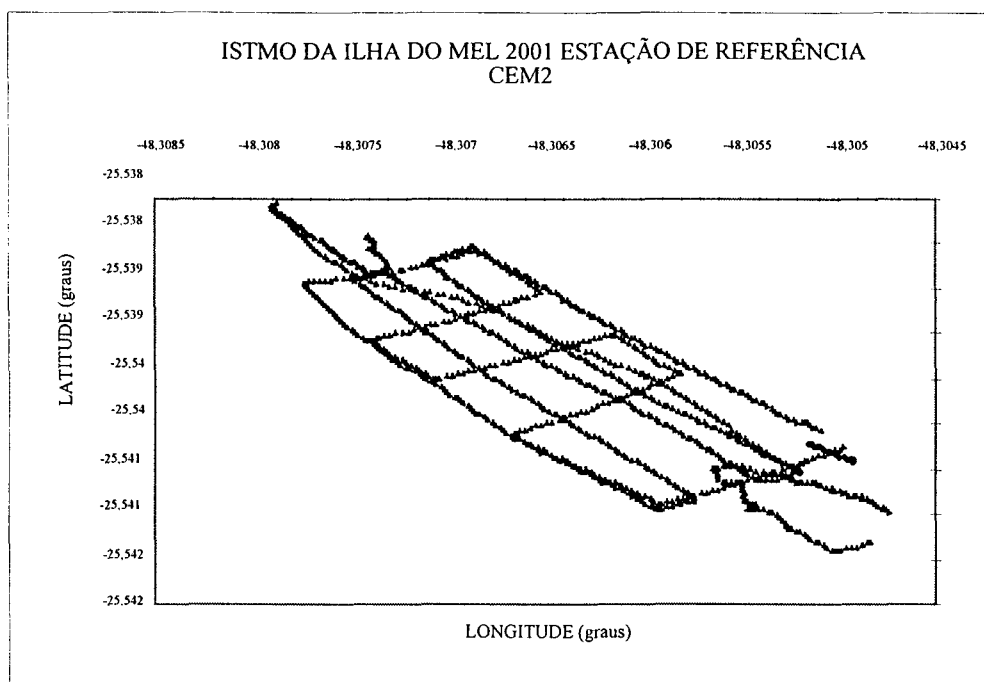
FIGURA 46 – ESTAÇÃO MÓVEL



Deve-se aqui ressaltar que neste levantamento não foi obtido sucesso no posicionamento em tempo real. Quando se iniciou o levantamento no istmo, que dista 5,8km da estação de referência CEM2 (Quadro 9), detectaram-se alguns problemas na comunicação. Grandes interferências nas transmissões das correções surgiram (falhas na recepção e na transmissão das correções). Isto fez com que esta fase do projeto não tenha sido alcançada, não ocorrendo a aplicação em tempo real. Os dados coletados foram pós-processados com o programa PRISM, gerando resultados e propiciando a análise destes resultados.

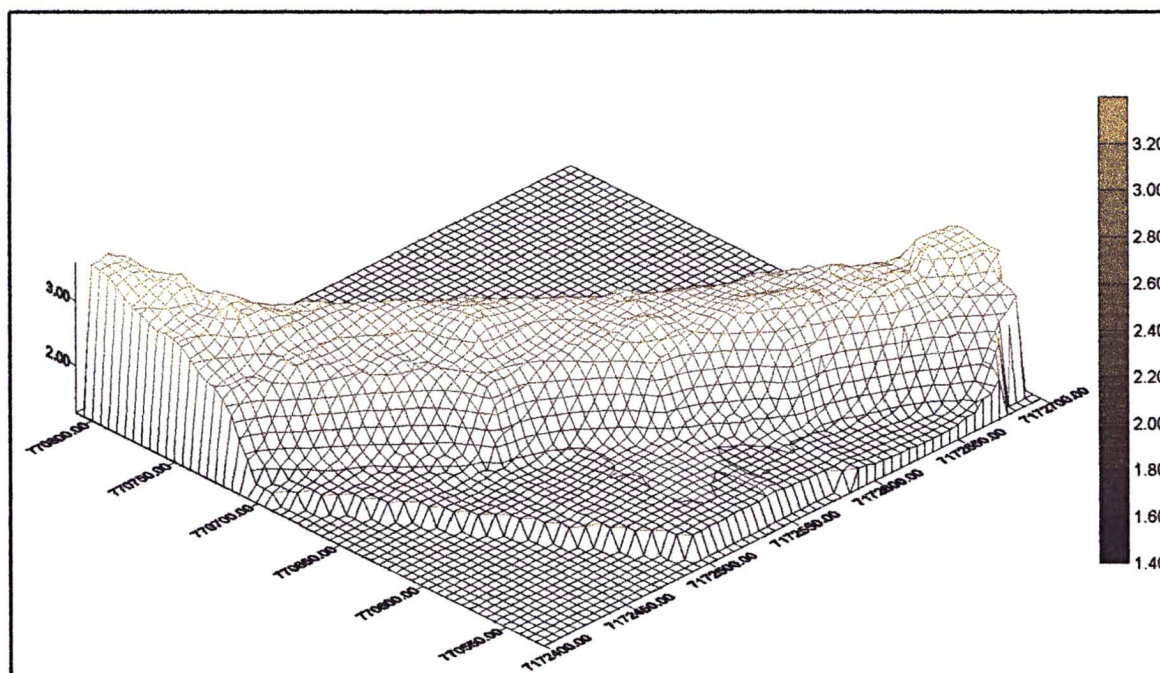
A Figura 47 mostra a trajetória percorrida no istmo da Ilha do Mel, sendo as coordenadas obtidas por meio da estação de referência CEM2 e a estação MOBI.

FIGURA 47 – ISTMO DA ILHA DO MEL COM A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2 E A MOBI



Na Figura 48 observa-se o MDT gerado com as 1.568 coordenadas obtidas no levantamento do istmo da ilha.

FIGURA 48 – MDT DO ISTMO DA ILHA DO MEL PARA A ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2



5.5 PROCEDIMENTOS PARA O CÁLCULO DOS VOLUMES E ANÁLISES DOS RESULTADOS ALCANÇADOS NOS LEVANTAMENTOS REALIZADOS NO ISTMO DA ILHA DO MEL

5.5.1 Procedimentos e análises entre as épocas 1997, 1999 e 2001

Para o processo de visualização dos MDT e avaliação das variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel, foram utilizados os recursos do *software* SURFER na versão 7.0. Este programa permite a utilização de vários tipos de interpoladores para a geração da grade (*gridding*). Observam-se vantagens e desvantagens em cada interpolador sendo que o resultado está diretamente ligado ao comportamento do interpolador, ou seja, as características matemáticas de cada um deles em relação à superfície a ser modelada. A interpolação por sua vez dependerá da quantidade de dados (amostras) coletadas em campo, bem como da sua distribuição espacial. Deve-se ressaltar que quando a quantidade de dados do levantamento é

pequena, em relação ao tamanho da área em estudo, deve-se ao menos, buscar uma distribuição espacial uniforme dos pontos de observação, caso contrário, nenhum método de interpolação fornecerá bons resultados. No caso dos levantamentos do istmo da Ilha do Mel, tanto a quantidade de amostras bem como a sua distribuição espacial mostraram-se satisfatórias, analisando-se os resultados obtidos, referentes aos testes com os interpoladores disponíveis no *software* SURFER. Definido um interpolador, (inverso da distância), as grades foram geradas e delas extraídos os demais produtos cartográficos.

A utilização de diversos métodos de geração da malha é utilizada muitas vezes para a geração de mapas de elevação (curvas de nível), ondulações geoidais, modelos digitais do terreno, entre outras. Em geral, utilizam-se métodos que necessitam de pontos de levantamentos distribuídos sobre uma grade regular (*gridding*). Cada método calcula os nós da grade (*grid*) por meio de diferentes algoritmos e os resultados podem levar a diferentes interpretações dos dados. A escolha do método de interpolação é, portanto muito importante para a geração do *gridding*, pois influencia na posterior geração de novos produtos e em toda a análise dos resultados.

Os métodos de *gridding* (formação da grade) produzem arranjos de pontos regularmente espaçados com cotas de elevação obtidas de dados espaciais distribuídos irregularmente. Se os dados estão distribuídos de uma forma aleatória podem existir porções da área de estudo que não contenham pontos de observação por isso, faz-se necessário definir a escala (resolução) na qual a grade será gerada. Podem-se utilizar diversos métodos de interpolação (seção 3.3) para o processamento dos mapas de elevação, como por exemplo: inverso da distância, vizinho mais próximo, mínima curvatura, entre outros.

A primeira etapa para geração dos MDT e posterior cálculo dos volumes entre as épocas, consistiu na transformação das coordenadas geográficas latitude (ϕ), longitude (λ) e altitude (h) no sistema de referência WGS-84 fornecidas pelo programa de coleta dos dados GPS (GNREF/GNRT-K) ou pelo processamento dos dados em coordenadas cartesianas (X , Y e Z) na projeção UTM. Teve-se este cuidado antes de se efetuar o cálculo dos volumes no programa SURFER, porque ele exige que as

coordenadas de entrada tenham as mesmas unidades tendo em vista que, a saída dos resultados é dada em “unidades” cúbicas. Por exemplo, se as unidades de entrada forem o metro para as coordenadas X, Y e Z, então o resultado final será fornecido em metros cúbicos. Para tal, utilizou-se uma rotina no programa MATLAB para a transformação das coordenadas geográficas em cartesianas. A partir delas pode-se então realizar alguns testes com os interpoladores disponíveis no *software*. Para a geração do *gridding* utilizaram-se as mesmas coordenadas de entrada em X e Y e a mesma resolução que neste caso foi 5m em X e 5m em Y. Estes valores foram estabelecidos partindo-se da coleta dos dados GPS que foi realizada com uma taxa de 3s com o usuário se deslocado a uma velocidade de 5km/h, assumindo então uma distância entre os pontos de aproximadamente 5m. Os *grids* gerados (neste caso, de 61 linhas por 58 colunas), com os diferentes interpoladores, apresentaram valores do volume final computado muito diferentes para uma mesma época. Os critérios adotados para contornar estes problemas serão descritos e detalhados no decorrer deste capítulo.

Optou-se pela geração de grades regulares porque os levantamentos foram realizados em anos distintos 1997, 1999 e 2001, e principalmente pelo fato de que devido às próprias variações naturais e temporais na área em estudo, não foi possível percorrer exatamente os mesmos pontos, ou seja, realizar a mesma trajetória, apesar de ter-se aplicado o mesmo procedimento nos levantamentos de campo. Com isso o caminhamento dos perfis, em 1999 e 2001, foram “aproximados” em relação à primeira época, isto é, do levantamento dos primeiros perfis transversais e longitudinais em 1997.

Desta maneira, gerando-se MDT com grade regular definiu-se as superfícies “equivalentes” impondo os limites máximos, mínimos e a resolução nas grades geradas. Analisou-se também a possibilidade de aplicar uma grade irregular, por exemplo, com o critério de *Delaunay*. Chegou-se então a conclusão de que não seria a melhor solução para este tipo de situação, pois a grade gerada por este método não passa por interpolação, onde por definição, as amostras são os próprios vértices dos triângulos. Dependendo de cada caso, a grade irregular apresenta esta vantagem sobre

as grades retangulares as quais utilizam interpolação para geração da grade. Porém pode-se cometer maiores erros no caso deste estudo, tendo em vista que são comparados volumes em três épocas distintas, não coincidentes nas trajetórias percorridas isto é, nos pontos observados. Os testes foram então efetuados gerando-se as grades com os interpoladores, inverso da distância, regressão polinomial, vizinho mais próximo, mínima curvatura. Estes diferentes métodos de *gridding* (interpoladores), como já foi dito, forneceram diferentes interpretações para os dados, pois cada método calcula o *grid* a partir dos valores das amostras, utilizando diferentes algoritmos. Desta forma, utilizando-se os diferentes métodos de *gridding* pode-se comparar e analisar os resultados fornecidos.

A primeira análise dos resultados obtidos com diferentes interpoladores foi a comparação visual dos mapas de isolinhas das diferentes grades. Quando se cria um mapa de isolinhas, muitas das linhas podem estar posicionadas de forma não satisfatória, ou até fornecer resultados não confiáveis, quando comparados com os dados originais. Isto ocorre porque as isolinhas são determinadas unicamente por valores interpolados dos nós do *grid* e não diretamente pelos dados originais. Enfatiza-se mais uma vez que cada método de interpolação possui uma particularidade, fazendo-se necessário determinar qual o melhor método a ser utilizado, que por sua vez depende dos dados originais, ou seja, das amostras e do fenômeno modelado. Isso faz com que a escolha do interpolador para a geração das grades, seja a etapa mais importante, pois a partir dele as grades serão geradas e delas os demais produtos cartográficos.

De posse das curvas de nível geradas, foi possível visualizar e analisar o comportamento das mesmas no que se refere aos interpoladores. Em princípio efetuou-se uma análise visual das curvas de nível, porém, através das Figuras 49, 50 e 51 verifica-se que os interpoladores que representaram melhor o comportamento da superfície foram o inverso da distância e o vizinho mais próximo.

FIGURA 49 - ISTMO DA ILHA DO MEL (ANO 1997) / INTERPOLADOR: INVERSO DA DISTÂNCIA

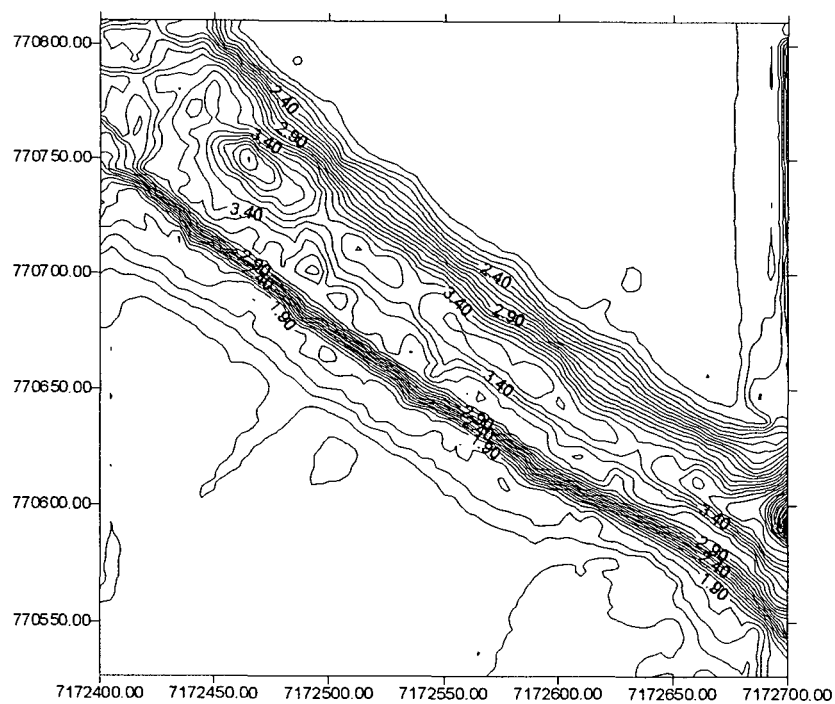


FIGURA 50 - ISTMO DA ILHA DO MEL (ANO 1997) / INTERPOLADOR: VIZINHO MAIS PRÓXIMO

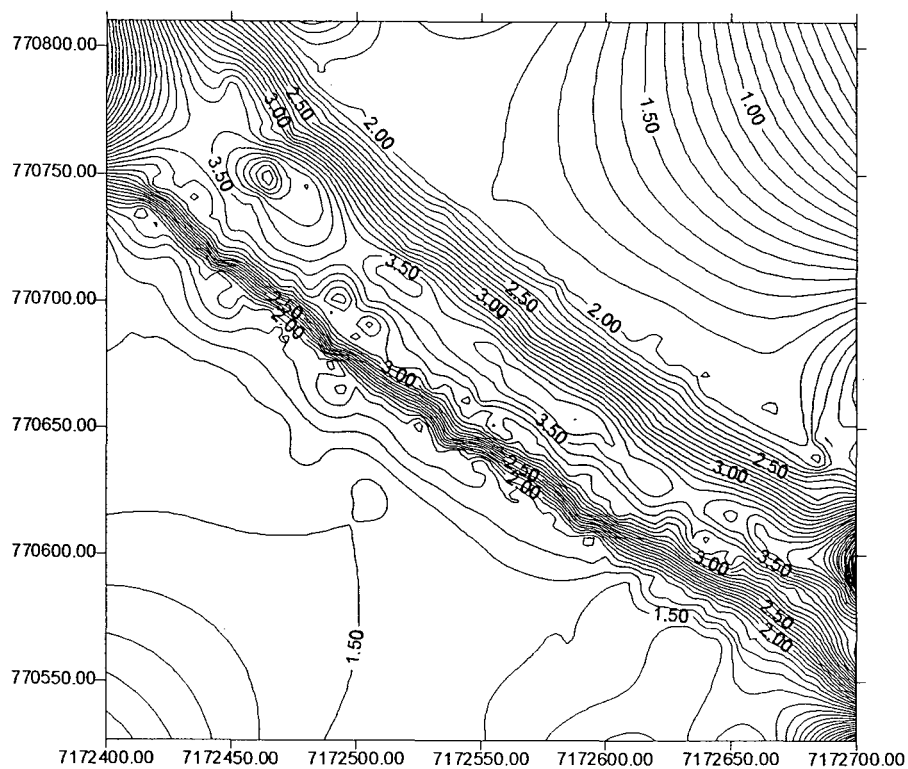
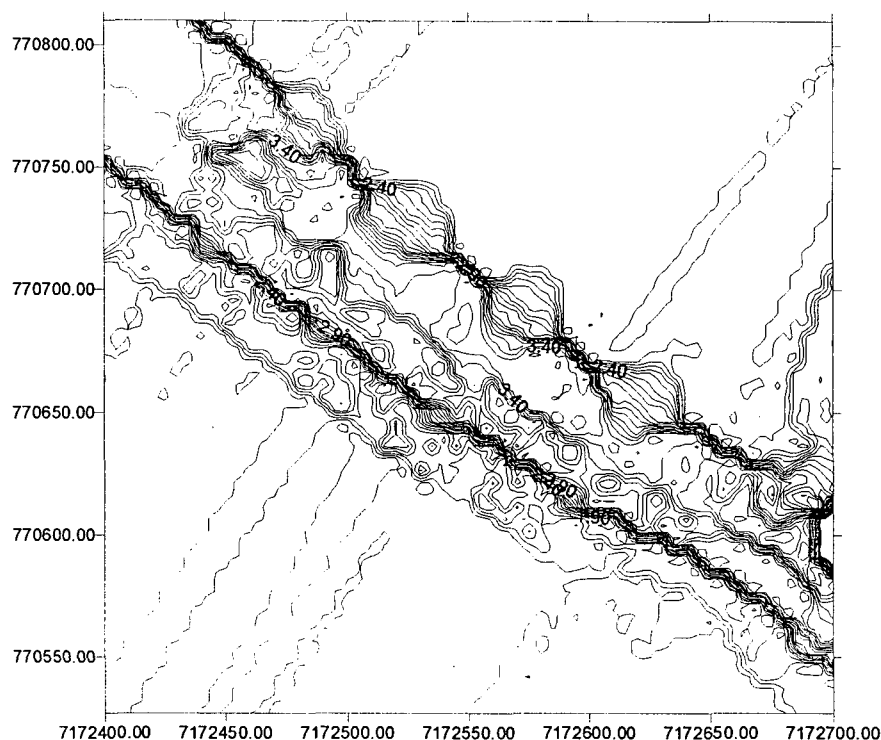


FIGURA 51 - ISTMO DA ILHA DO MEL (ANO 1997) / INTERPOLADOR: MÍNIMA CURVATURA



Com o intuito de uma análise quantitativa, partiu-se para outro teste visando a escolha do interpolador a ser utilizado. Buscou-se investigar qual seria o melhor interpolador para a quantidade e distribuição espacial das amostras disponíveis, ou seja, qual interpolador retrataria da forma mais confiável o terreno a ser modelado e posterior volume a ser calculado. Utilizou-se então o módulo *grid/residuals* que o programa SURFER oferece. Esta ferramenta permite computar a diferença entre os valores de Z (cotas) dos dados originais e os valores de Z (cotas) dos dados interpolados. Com estes resultados o programa fornece medidas estatísticas que permitem a análise da qualidade dos *grid* gerados com os dados originais. Calculou-se para estes valores a média, desvio padrão e efetuaram-se as análises para escolha do interpolador.

Segundo GEMAEL (1994, p. 87), a média aritmética é um estimador eficiente, reúne predicados que a qualificam como um ótimo estimador da média populacional. Desta forma, escolhida a média aritmética como representativa da grandeza medida através de observações não correlacionadas de mesma confiança, restou estimar o seu

grau de precisão. Para tanto é necessário adotar-se uma estimativa da precisão das observações, que neste trabalho foi o desvio padrão (medida de dispersão).

Coletaram-se alguns pontos aleatoriamente em todo o contorno da área (bordas) e também no seu interior de forma a computar os resultados e gerar o Quadro 10, resultado da análise de 114 coordenadas escolhidas para este teste.

QUADRO 10 – TESTE COM OS INTERPOLADORES

Interpoladores	Média (m)	Desvios Padrão (cm)
Inverso da Distância	0,01283	8,7
Vizinho mais Próximo	0,01915	9,7
Mínima Curvatura	0,01352	10,1

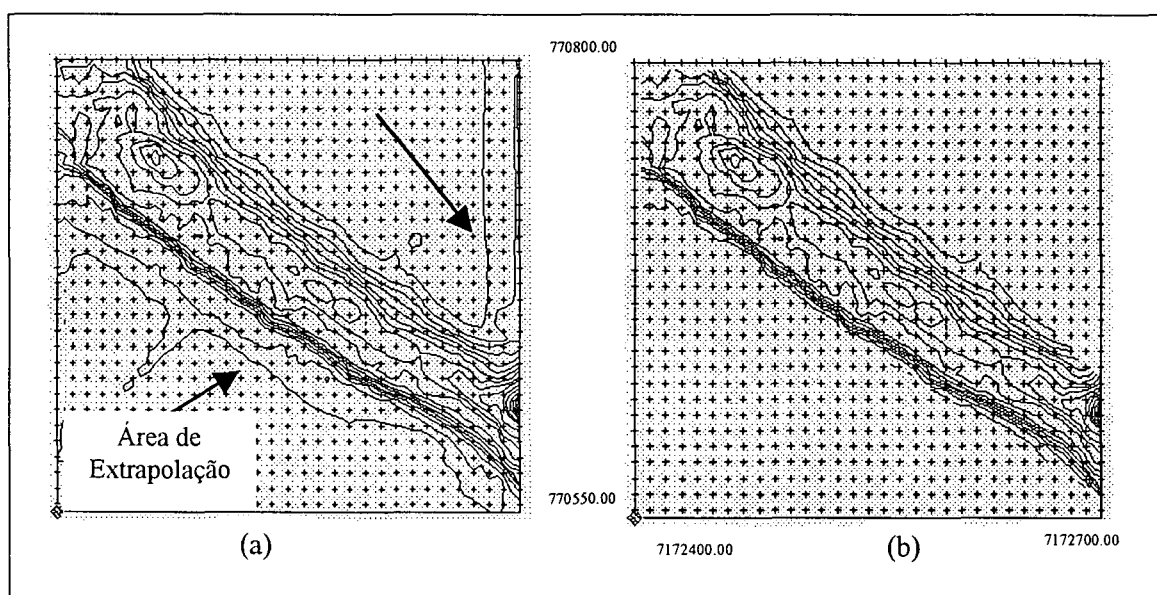
Verifica-se a partir do Quadro 10 que dos três interpoladores utilizados, o que apresentou melhor resultado foi o inverso da distância, com menor desvio padrão (8,7293cm) e portanto para esta situação, melhor confiabilidade na geração dos produtos (MDT, mapas isolinhas e cálculo dos volumes). Tendo em vista estas considerações quanto aos interpoladores, geraram-se todos os produtos subseqüentes.

Para concluir esta etapa, vale relembrar, como já foi dito, que os diversos métodos de *gridding* disponíveis podem apresentar vantagens e desvantagens que dependem de vários fatores, tais como: quantidade de dados disponíveis, regularidade da distribuição espacial, velocidade exigida para o processamento, fidelidade aos pontos observados (solução exata ou suavizada). Por mais eficiente que seja o método de *gridding*, caso a distribuição dos dados observados não seja favorável, os resultados podem ser insatisfatórios, exigindo-se até a realização de novos levantamentos.

A terceira etapa do processamento consistiu no cálculo do volume, porém alguns problemas surgiram, pois os volumes calculados “extrapolavam” para toda a grade gerada e não apenas para região estudada e analisada, gerando assim volumes totais não condizentes com os volumes supostamente esperados para a área. Diante desse problema, buscou-se investigar mais um dos recursos oferecidos pelo programa SURFER que é a criação dos chamados arquivos *blanked* ou vazios, os quais possibilitam delimitar a área de interesse dentro do *grid* gerado para posteriormente

calcular o volume apenas na área de interesse. De posse então da nova área delimitada, foi realizada nova interpolação gerando como saída um novo *grid* o qual apresentou-se mais coerente com a área real ou verdadeira. A Figura 52 (a) e (b) mostram os *grids* gerados com o interpolador adotado (inverso da distância) antes e depois da criação do arquivo *blanked*. A partir dos novos *grid* gerados efetuou-se novamente o cálculo do volume. Estes procedimentos foram considerados e efetuados para os levantamentos de 1997, 1999 e 2001.

FIGURA 52 – GRADES GERADAS ANTES E DEPOIS DA CRIAÇÃO DOS ARQUIVOS *BLANKED* GERADAS A PARTIR DO INTERPOLADOR INVERSO DA DISTÂNCIA



Verifica-se na Figura 52 (a) que sem a delimitação da área de interesse fica evidente que para computar o volume, os algoritmos utilizam todas as informações existentes no *grid*. Isto significaria um volume maior em (a) do que em (b), “mascarando” o volume real, acarretando um resultado impreciso, ou seja, não confiável, motivo este das discrepâncias observadas nos primeiros volumes calculados.

O *software* SURFER calcula os volumes baseados em sólidos definidos por uma superfície mais alta e outra mais baixa, definidas como *upper* e *lower*. A escolha do plano horizontal de referência, ou seja, o valor de *Z* constante, para geração do volume fica a critério do usuário. Estas superfícies ficarão definidas através de um arquivo (.*grd*) anteriormente gerado ou em um plano com nível de *Z* constante. Em se

tratando do istmo da Ilha do Mel cabe esclarecer, que ainda não foram realizados trabalhos de nivelamento geométrico ou outros nesta área, não se tendo informações de pontos com altitude ortométrica conhecida na área do istmo. Tendo em vista estes aspectos, optou-se pela geração dos MDT, mapas de isolinhas, perfis e cálculo dos volumes com altitudes geométricas fornecidas pelo GPS. Como a avaliação dos volumes é relativa, ou seja, são analisados os volumes erodidos e ou progradados entre épocas diferentes, a superfície de referência adotada não afeta a análise final. Os *grids* com significativo “ruído” ou com superfícies altamente irregulares são fracos candidatos para o cálculo de volume. Isto sugere que quanto maior o número de amostras e menor o espaçamento entre elas, melhor será a suavização e também melhor será o candidato ao cálculo do volume, fornecendo maior confiabilidade.

Como já mencionado, os volumes foram calculados a partir da grade gerada pelo interpolador inverso da distância, utilizando os arquivos *blanked*. O Quadro 11 fornece os volumes calculados pelo programa SURFER nas épocas levantadas utilizando-se os três métodos de integração numérica. O plano de referência horizontal adotado foi $Z = 0$, tendo em vista que o interesse maior neste estudo foi comparar as diferenças de volumes entre as épocas de levantamento, de forma a quantificar o processo erosivo no istmo da ilha. O Quadro 12 fornece as diferenças volumétricas entre as épocas, adotando o método de integração numérica Regra dos Trapézios.

QUADRO 11 - VOLUMES DE CORTE CALCULADOS PARA AS TRÊS ÉPOCAS (1997, 1999 e 2001)

Método de Integração	1997 (m ³) para Z=0	1999 (m ³) para Z=0	2001 (m ³) para Z=0	Área Plana das 3 épocas (m ²)
Regra dos Trapézios	66.690,1	41.931,9	59.252,9	84.900
Regra de Simpson	66.933,3	42.183,5	59.596,8	
Regra 3/8 de Simpson	66.841,2	42.075,0	59.396,2	

QUADRO 12 - DIFERENÇAS VOLUMÉTRICAS CALCULADAS PARA A REGRA DOS TRAPÉZIOS ENTRE ÉPOCAS

Épocas	Diferenças Volumétricas (m ³)
1997 – 1999	+24.758,2
1997 – 2001	+7.437,2
1999 - 2001	-17.321,0

Verifica-se no Quadro 11 como era esperado, devido à tendência do processo erosivo no istmo da ilha, que os volumes totais de corte para a época 1999 são menores do que a época 1997, ou seja, 66.690,1m³ e 41.931,9m³ respectivamente. Provavelmente devido à dinâmica do fluxo sedimentar, foi constatado através dos levantamentos efetuados em 1999 que grande parte da área foi erodida, apresentando uma variação volumétrica de +24.758,2m³. A diferença volumétrica apresenta um volume de corte evidenciando a área em franco processo erosivo, onde houve uma acreção de sedimentos. Para a época 2001, o volume de corte que foi de 59.252,9m³, ou seja, aumentou em relação a 1999 e diminuiu em relação a 1997. As diferenças volumétricas foram da ordem de +7.437,2m³ entre as épocas 1997 e 2001 e -17.321,0m³ entre as épocas 1999 e 2001.

Constatou-se que as diferenças volumétricas computadas entre 1997 e 2001 apresentaram volume de corte, ou seja, diminuição de sedimentos (erosão) e entre 1999 e 2001 aumento de sedimentos (progradação). Tendo em vista a progradação ocorrida em 2001 (Quadro 11 e 12), faz-se necessárias algumas discussões e estudos mais aplicados na área do istmo para que as afirmações relacionadas às causas dessa progradação tenham convicção, uma vez que a erosão esperada não ocorreu e sim o contrário, houve uma progradação e também um aumento no volume do istmo com relação a uma outra época.

Algumas hipóteses foram formuladas com respeito a essa causa dentre elas é que uma ampliação dos limites do istmo da ilha do Mel pode ter sido gerada por uma alteração natural do sistema de circulação das correntes marinhas, bem como das frentes de ondas que atingem o litoral do Paraná. Nos últimos 3 ou 4 anos o esporão

arenoso que vem se formando do Morro do Farol para o istmo tem sido bem mais acentuado. Talvez este processo esteja gerando para esta área uma zona de proteção da ação efetiva das forçantes físicas (ondas e correntes).

Visando avaliar a qualidade dos dados fornecidas através do *software* SURFER foi realizado um estudo adicional que consistiu da determinação dos volumes por meio do método das seções transversais o qual utiliza uma formulação que supõe seções planas paralelas entre si, espaçadas de uma distância “d”, onde o volume será dado por:

$$V = d \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \quad (22)$$

Esta fórmula é muito empregada em estradas e ferrovias, nos cálculos de corte e aterro onde para uma mesma seção pode-se ter áreas de corte e aterro, que posteriormente significarão volumes de corte e aterro.

A etapa mais trabalhosa e lenta deste método é o cálculo das áreas das seções transversais. Desta forma aproveitou-se os recursos do *software* AutoCad para gerar cada uma das seções e calcular as áreas dos perfis. Exportou-se os mapas de isolinha gerados no SURFER para o AutoCad e sobre essas curvas, 5 perfis foram traçados a partir das coordenadas conhecidas das estacas implantadas nos perfis longitudinais do levantamento de 1997, como mostram as Figuras 53, 54 e 55.

FIGURA 53 - PERFIS GERADOS PARA OS LEVANTAMENTOS DE 1997 NO ISTMO DA ILHA DO MEL (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2)

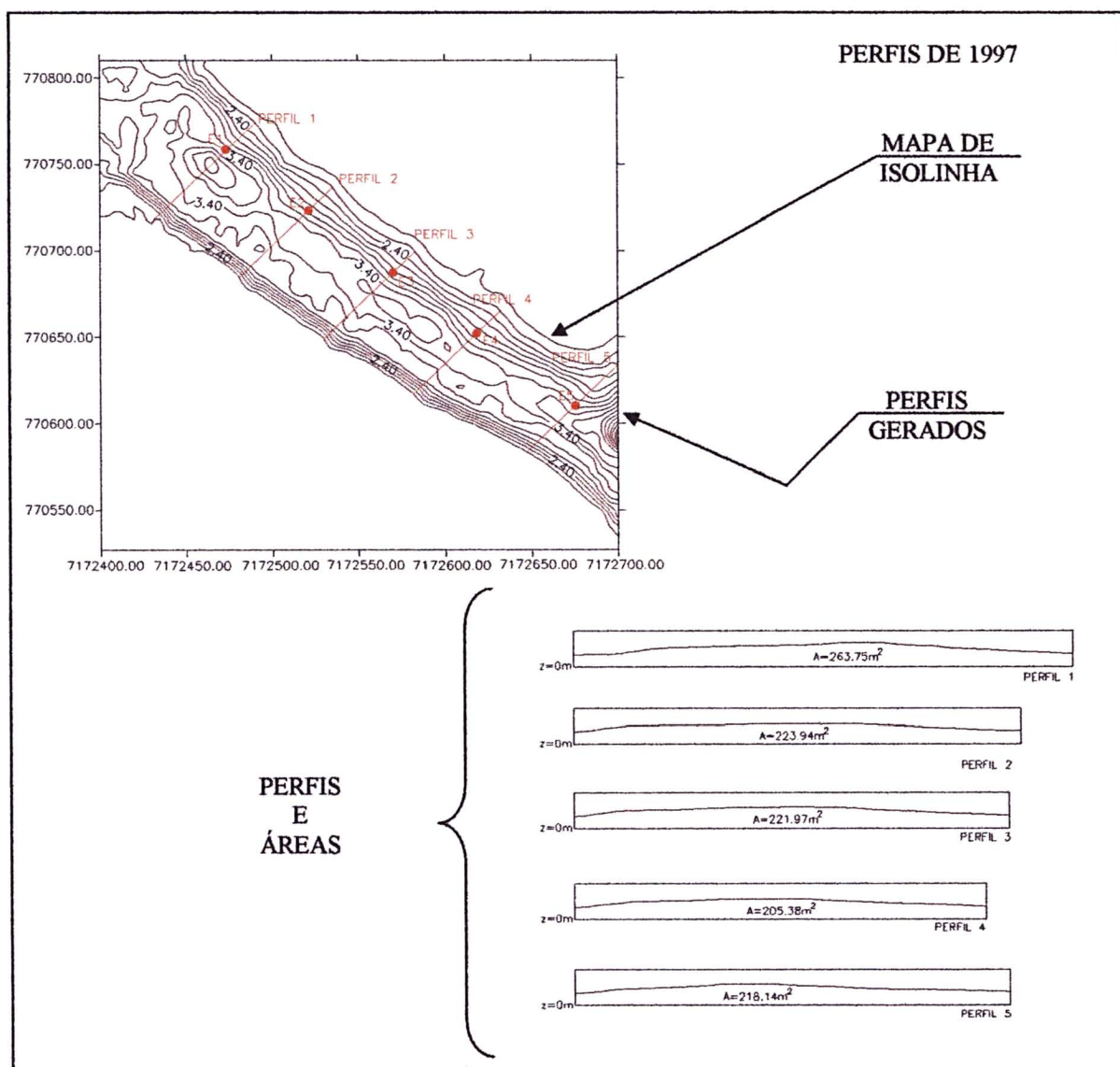


FIGURA 54 - PERFIS GERADOS PARA OS LEVANTAMENTOS DE 1999 NO ISTMO DA ILHA DO MEL (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2)

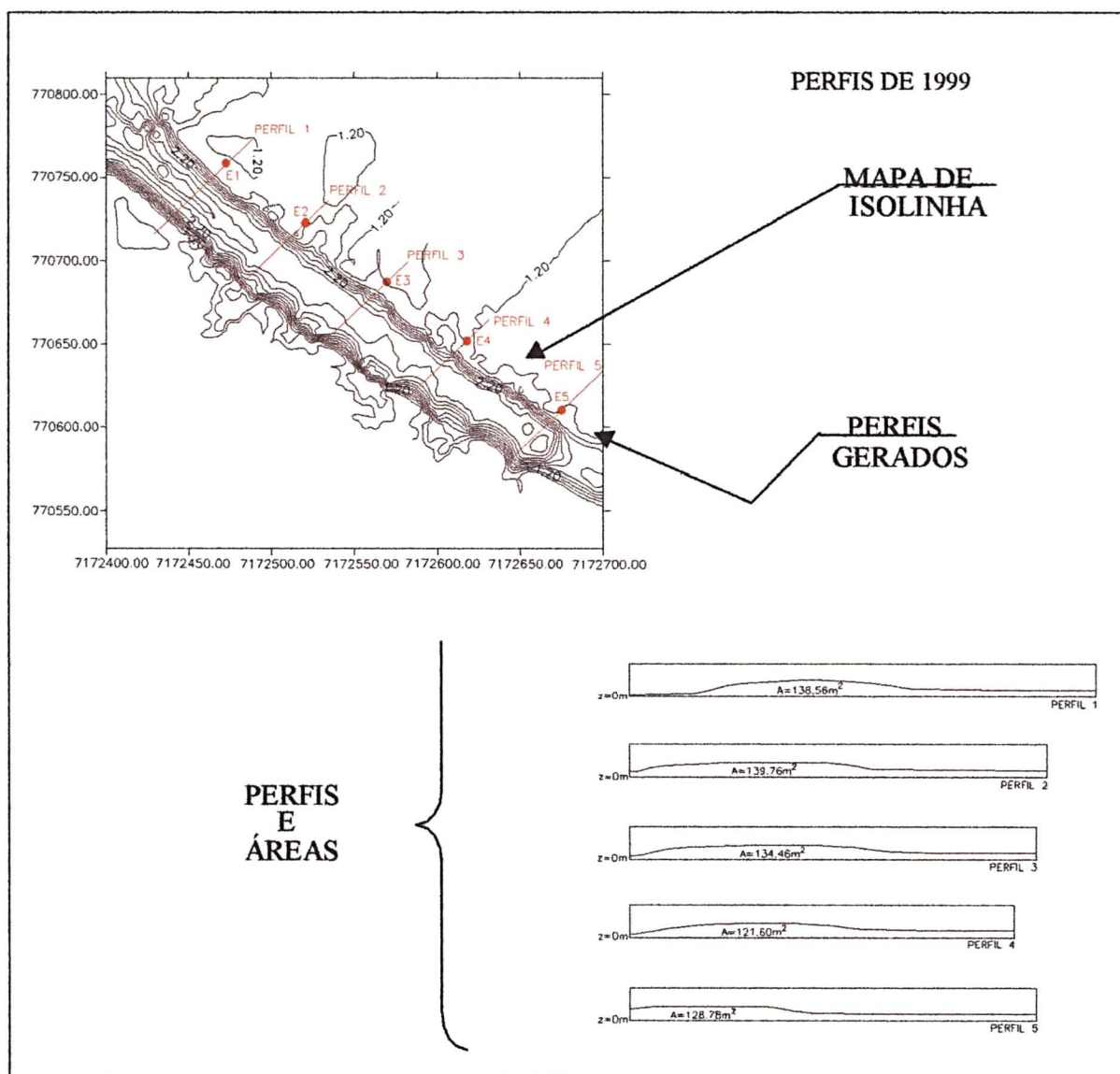
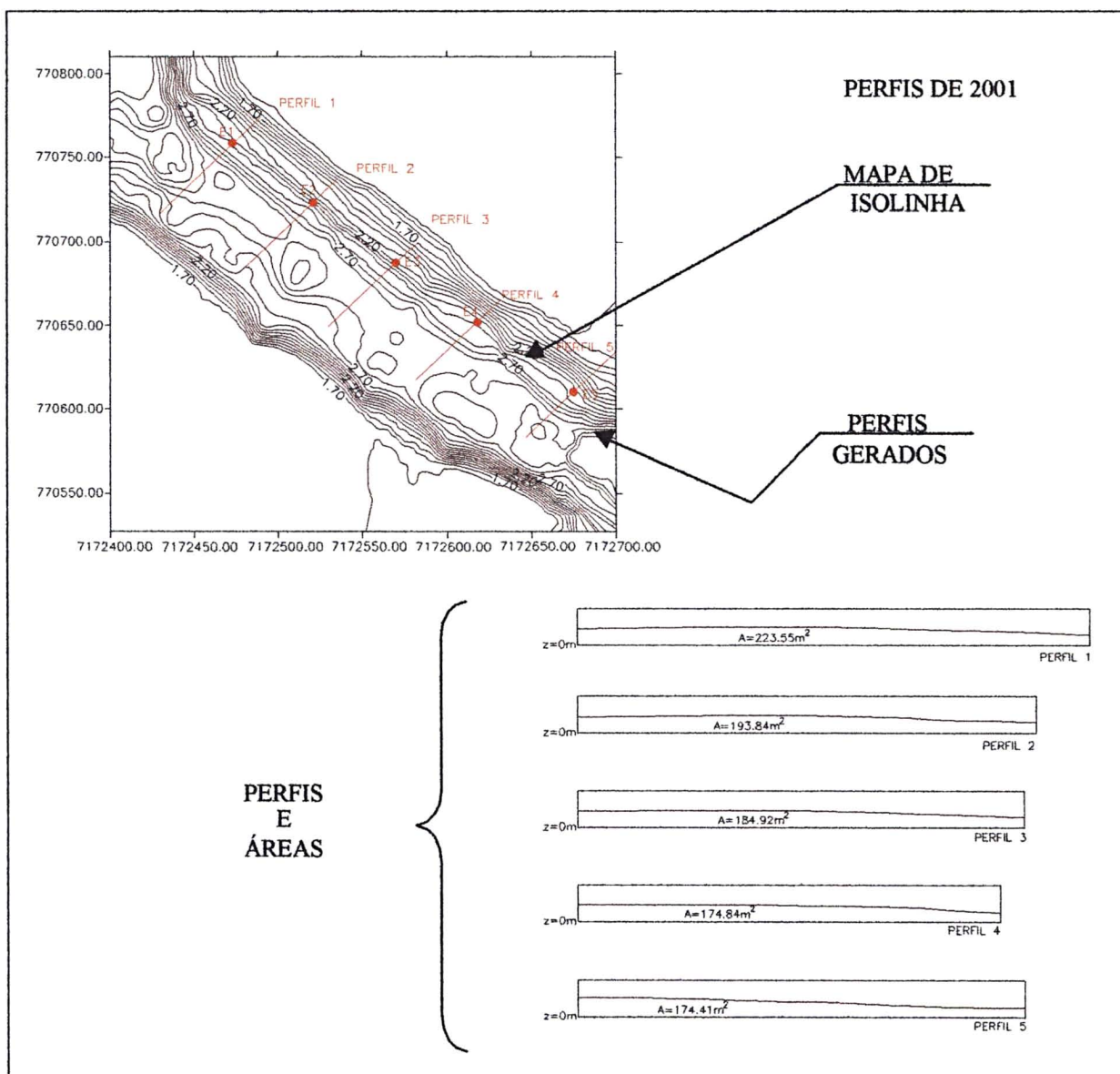


FIGURA 55 - PERFIS GERADOS PARA OS LEVANTAMENTOS DE 2001 NO ISTMO DA ILHA DO MEL (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CEM2)



Com as áreas dos perfis e os volumes computados, posteriormente foram calculadas manualmente as diferenças volumétricas entre as épocas, obteve-se os valores indicados nos Quadros 13 e 14

QUADRO 13 – ÁREAS DOS PERFIS E VOLUMES CALCULADOS PELO MÉTODO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

Perfis	Área 1997 (m ²)	Volume total 1997 (m ³)	Área 1999 (m ²)	Volume total 1999 (m ³)	Área 2001 (m ²)	Volume total 2001 (m ³)
1	263,7505	54.779,80	138,5610	32.512,03	223.55	46.162,42
2	223,9429		139,7612		193.84	
3	221,9692		134,4673		184.92	
4	205,3779		121,6074		174.84	
5	218,1421		128,7886		174.41	

QUADRO 14 – DIFERENÇAS VOLUMÉRICAS CALCULADAS ENTRE ÉPOCAS

Épocas	Diferenças Volumétricas (m ³)
1997 - 1999	+22.267,97
1997 - 2001	+8.617,58
1999 - 2001	-13.650,39

As diferenças encontradas entre os dois métodos de cálculo do volume (Quadro 15) podem ser explicadas pelo fato de que o *software* SURFER (método de integração numérica) considera o terreno como uma superfície contínua, ou seja, são consideradas todas as irregularidades (rugosidades) do terreno. Já no método das seções transversais, o terreno é considerado como uma superfície plana entre duas áreas de perfis consecutivos.

Mediante o cálculo das diferenças volumétricas apresentadas no Quadro 15, verifica-se que os valores diferiram de aproximadamente 10% a 20% entre um método

e outro e que tais diferenças poderiam ser minimizadas se fossem realizados um maior número de perfis.

QUADRO 15 – DIFERENÇAS VOLUMÉTRICAS CALCULADAS PELO MÉTODO TRADICIONAL E PELO SURFER

Levantamentos	Diferenças Volumétricas (Método Seções Transversais - m ³)	Diferenças Volumétricas SURFER (Método de Integração Numérica - m ³)
1997 – 1999	+24.758,2	+22.267,9
1997 – 2001	+7.437,2	+8.617,5
1999 - 2001	-17.321,0	-13.650,4

Enfatiza-se que para o cálculo dos volumes utilizou-se um plano de referência $Z=0$ tendo em vista o interesse nos volumes de corte. Outro cuidado foi ocupar o marco CEM2 como a estação de referência principal (coordenadas conhecidas) para todas as épocas levantadas 1997, 1999 e 2001 no istmo da Ilha do Mel. Quando se planeja o cálculo das variações volumétricas de uma região, uma questão importante que deverá ser considerada é a correlação espacial, pois ela poderá influenciar no processo do cálculo dos volumes. Mediante esta questão é que deve-se ocupar sempre a mesma estação de referência para não se deparar com este problema.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos desta pesquisa (seção 1.2) foram analisar as variações volumétricas no istmo da Ilha do Mel em diferentes épocas (1997, 1999 e 2001), mostrar a viabilidade do PDGPS e as precisões alcançadas nos levantamentos empregando diferentes estações de referência, bem como indicar a correlação espacial empregando as estações de referência (GUAR, PARG, CEM2, IDMA), utilizadas nos

levantamentos realizados em 1999. Com base nestes objetivos chegou-se as seguintes conclusões:

- a) as aplicações da técnica PDGPS, no âmbito marinho, com o auxílio do programa GNREF/GNRT-K, desenvolvido pela empresa Geo++ (Alemanha), mostraram-se de grande valia para áreas sujeitas a intensas variações volumétricas, em face da erosão e da sedimentação nelas detectadas, pois fornece coordenadas geodésicas com precisão, da ordem subdecimétrica;
- b) a vantagem em se utilizar esse programa, é a eliminação da fase de pós-processamento dos dados levantados com o posicionamento cinemático, agilizando na obtenção dos resultados e conduzindo a um melhor monitoramento e controle das áreas em questão. Enfatiza-se que a qualidade no posicionamento em tempo real está ligada diretamente ao número de satélites rastreados e ao número de satélites com ambigüidades fixadas;
- c) mediante os volumes calculados e as variações volumétricas determinadas entre as épocas, conclui-se que provavelmente devido à dinâmica do fluxo sedimentar da área do istmo da Ilha do Mel, parte da área foi erodida para uma época, e progradada em outra ou seja, os volumes computados para 1997, 1999 e 2001 foram $66.690,1\text{m}^3$, $41.931,9\text{m}^3$ e $59.252,9\text{m}^3$ respectivamente. As diferenças volumétricas entre 1997 e 1999 foram de $+24.758,2\text{m}^3$ evidenciando a área em franco processo erosivo e a diferença entre 1997 e 2001 foi de $+7.437,2\text{m}^3$. Já entre 1999 e 2001, verifica-se uma diferença da ordem de $-17.321,0\text{m}^3$, neste caso houve um aumento de sedimentos (progradação).
- d) quanto ao estudo de correlação, realizado com os levantamentos de 1999 (seção 5.3) conclui-se que as posições calculadas para o istmo da Ilha do Mel empregando-se a estação de referência IDMA apresentaram os menores desvios padrão e com a estação de referência GUAR valores mais elevados (Gráficos 8 a 11). Verificou-se também que a proporção das

coordenadas calculadas em função das coordenadas desconsideradas (após estas estarem organizadas em planilhas, efetuou-se uma filtragem de forma que fossem aceitas apenas as posições com desvios padrão $\leq 1\text{m}$ nas coordenadas X, Y e Z) foi maior à medida que a estação de referência encontrava-se mais distante da estação móvel, tais fatos evidenciam e comprovam claramente o efeito da correlação espacial;

- e) a grade regular gerada possibilitou aproximar as possíveis diferenças ocorridas entre os levantamentos, tornando as superfícies o mais equivalentes possíveis. A grade irregular foi desconsiderada já que a grade gerada por este método não passa por interpolação, as amostras são os próprios vértices dos triângulos. Com esta grade poder-se-ia cometer maiores erros, uma vez que se tem três épocas distintas com trajetórias não coincidentes. Ressalta-se que a escolha do interpolador para a geração das grades é uma das etapas mais importantes, pois a partir delas as grades são geradas e também os demais produtos cartográficos;
- f) quanto ao interpolador utilizado na geração da grade regular (inverso da distância) ele mostrou-se satisfatório uma vez que a grade gerada representou adequadamente a superfície real. Tanto a distribuição espacial quanto a quantidade de amostras mostraram-se satisfatórias analisando-se os resultados obtidos, referentes aos testes com os interpoladores disponíveis no *software* SURFER, ele apresentou a melhor medida de dispersão/desvio padrão da ordem de 8,7293cm e uma média aritmética igual a 0,01283cm, indicando uma melhor confiabilidades na geração dos produtos;
- g) de fundamental importância é a criação dos arquivos *blanked* ou vazios, os quais possibilitam delimitar a área de interesse dentro do *grid* gerado. Sem esta delimitação o volume calculado pelo *software* SURFER poderá não ser o volume real;
- h) os volumes adotados para as análises com relação as diferenças volumétricas calculadas para as diferentes épocas foram computados por

meio do *software* SURFER utilizando 3 classes numéricas de algoritmos de integração (Regra Trapezoidal, Simpson e 3/8 de Simpson). O volume considerado foi o da Regra dos Trapézios, tendo em vista os aspectos citados na seção 5.5 considerando que a superfície investigada possui um relevo pouquíssimo acidentado, podendo ser caracterizada como uma superfície plana, e também pela quantidade e a distribuição das amostras;

- i) faz-se necessário ocupar a mesma estação de referência para a realização do levantamento quando se planeja a obtenção das variações volumétricas. Desta forma minimiza-se o problema de correlação espacial que poderá influenciar no processo dos cálculos;
- j) apesar de a erosão marinha ser um processo natural ou induzido pelo homem, é possível se realizar um monitoramento e controle mais eficiente da área da Ilha do Mel, uma vez que a construção de uma base geodésica e uma cartografia de qualidade com as informações sistematizadas e atualizadas das áreas de preservação ambiental devidamente especializadas, classificadas e hierarquizadas possibilitarão uma gestão eficaz e segura. A construção de uma base de dados com essas informações permitirá um debate permanente e a mobilização sobre os riscos e problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público, de determinadas atividades humanas ou de fatores naturais induzidos ou não, provocados por alterações geoambientais e climáticas.

Em vista dessas conclusões, e sendo que o assunto não se esgota com esta pesquisa, apresenta-se algumas considerações e recomendações para trabalhos futuros no âmbito de regiões costeiras dentre elas:

- a) esse trabalho amplia para discussões e aperfeiçoamento das técnicas e levantamentos envolvidos, visto à tendência em se monitorar áreas de importância ambiental e zonas costeiras para a conservação/preservação dos recursos naturais;

- b) deve-se monitorar continuamente as variações do istmo da Ilha do Mel sujeito a erosão e/ou progradação, fato que contribui para o desenvolvimento de planos estratégicos de controle dessas áreas;
- c) com este estudo percebe-se a necessidade de uma maior análise da influência de correlação espacial baseado no cálculo das variações volumétricas, ou seja, qual a influência da correlação espacial no cálculo da variação de volumes?
- d) para a aplicação sistemática de estudos sobre áreas degradadas, aplicadas ao planejamento ambiental, devem ser considerados procedimentos que permitam uma análise regional e integrada com outras áreas como por exemplo neste caso, a geologia e a oceanografia, de forma que as informações geoambientais sobre essas áreas sejam aplicadas não apenas a estudos específicos e ou locais;
- e) realizar novos levantamentos utilizando diferentes técnicas como por exemplo: nivelamento geométrico, imagens de satélites e fotografias aéreas fornecendo mais informações da área em questão;
- f) identificar as causas associadas a fatores naturais: estudos mais refinados sobre a dinâmica costeira, avaliação de dados climáticos que possam evidenciar mudanças climáticas (por exemplo: da frequência e da intensidade de tempestades), análise das séries temporais de dados de marés, por exemplo junto a DHN, possibilitando verificar se há uma associação à intensificação dos processos e a elevação atual do nível do mar;
- g) identificar as causas associadas a fatores antrópicos: análise das intervenções antrópicas na linha de costa e no continente para estabelecer a sua relação com os processos erosivos, por exemplo, a construção de estruturas rígidas perpendiculares e paralelas à linha de costa, dragagens em canais fluviais e de maré e na plataforma continental, extração de areia nas praias afetadas pela erosão ou em suas vizinhanças, interferências na

rede de drenagem, como extração de areia e retificação de canais fluviais e de maré e construção de baragens, etc;

- h) elaboração de zoneamento de risco com a definição dos seus graus de intensidades em função das causas dos processos erosivos e dos impactos que eles estão gerando;
- i) elaboração de recomendações de uso e ocupação para cada zona em função das causas dos processos erosivos e dos seus impactos, visando a minimização dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. B. **NAVSTAR-GPS**. Curitiba, 1988. 63 p. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- ANGULO, R. J. **“Sobre a erosão na Ilha do Mel”**. Artigo assinado: Gazeta do Povo. Curitiba, 20 de outubro de 1989.
- ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do estado do Paraná**. São Paulo, 1992. 334 p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Universidade de São Paulo.
- ANGULO, R. J. **Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas**. Curitiba, 1993 a. In: Bol. Par. Geoc., nº. 41, pp. 52-72.
- ANGULO, R. J. **A ocupação urbana do litoral paranaense e as variações da linha de costa**. Curitiba, 1993 b. In: Bol. Par. Geoc., nº. 41, pp. 73-81.
- ANGULO, R. J.; ARAUJO, A. D. **Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea**. Curitiba, 1996. In: Bol. Par. Geoc., nº. 44, pp. 7-17.
- ASHTech Z-XII. **PRISM Software Suite: Software User's Guide**. U.S.A, 1995.
- BIGARELLA, J. J. **Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná**. Curitiba, 1946. Arquivos de biologia e Tecnologia - IBPT, v, I, art. 7, pp. 75-111.
- BRIONES, A. B. **Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro**. Curitiba, 1999. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- BIRD, E. C. F. **Beach Management**. New York: John Wiley and Sons, 1996, 281 p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information System for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986, 194 p.
- BURROUGH, P. A.; MC – DONNELL, R. **Principles of Geographical Information Systems**. Spatial Information Systems and Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1998, 333 p.
- CANSAPCE. **Geodesy Forum**. White House Backgrounder on AS decision. 127 lines; GPS Constellation Daily Status Report. Disponível em: <<http://canspace.listserv.unb.ca>> Acessado em abril e dezembro de 2001.
- CARVALHO, L. D. **Análise das técnicas GPS atuais para os posicionamentos estáticos e cinemáticos em bases curtas**. Curitiba, 1999. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- CINTRA, J. P. **Contribuições ao estudo de representações de superfícies com auxílio do computador**. São Paulo, 1985. 286 p. (Tese de Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CINTRA, J. P. **Modelagem Digital de Terrenos (automação topográfica)**. Apostila. São Paulo, 1988. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CRIOLLO, A. R. T. **Comparação da precisão dos métodos cinemáticos para distâncias menores a dez quilômetros**. Curitiba, 1993. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

CUNNINGHAM, J. P.; SWIFT, E. R.; MUELLER, F. **Improvement of the NIMA Precise orbit and clock estimates**. Kansas City, Missouri. Proc. of ION GPS, 1999, pp. 1587-1596.

DESTRI, A. R. **Tratamento de modelos numéricos de terrenos (DTM) obtidos por processos fotogramétricos**. Rio de Janeiro, 1987. 257 p. Dissertação (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia.

DIVIS, D. A. **SA: Going to the way of dinosaur**. June, 2000. GPS World. Washington, v.11, n. 6, pp. 16 – 19.

EL-MOWAFY, A. **Performance analysis of the RTK technique in an urban environment**. June, 2000. The Australian Surveyor – Technical Papers, Vol. 45, nº. 1.

FARIAS, G. L.; LIMA, M. C. **Coletânea de Legislação Ambiental Federal e Estadual**. Curitiba, 1990. 536 p. Secretaria do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente - Coordenadoria de estudos e defesa do meio ambiente.

FELGUEIRAS, C. A. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações – Modelagem Numérica de Terreno**. INPE, 2001. Capítulo 6 – Análise espacial de dados geográficos. Livro on-line. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> 1999. Acessado em maio de 2001.

FFOULKES-JONES, G.; CONSADIER, D. **Utilizing a low cost receiver for centimeter to sub-meter accuracy real time and post-processed applications**. ION-GPS 1995.

FIGUEIREDO, J. C. **Contribuição à geografia da ilha do Mel (estado do Paraná)**. Curitiba, 1954. 61 p. Tese (Concurso de Cátedra em geografia do Brasil - Inédito). Faculdade de Filosofia da Universidade Federal do Paraná.

FRANKE, R. **Scattered data interpolation: test of some methods, mathematics of computations**. Vol. 33, nº. 157, 1982, pp. 181-200.

GAO, Y.; LI, Z.; MCLELLAN, J. F. **Carrier phase based regional area differential GPS for decimeter level positioning and navigation**. ION GPS – 1997.

GARNÉS, S. J. A. **Resolução das ambigüidades GPS para linhas de base curta: análise dos algoritmos de otimização**. Curitiba, 2001. 204 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 p.

GEONAP. **Referenz Handbuch**. GEOSPACE-Gesellschaft für Satellitengestützte Geodätische und Navigatorische Technologien mbH. Garben - Alemanha, 1992.

GNRT GPS-Positionierung in Echtzeit. **Technical Manual** Geo++ - Gesellschaft für Satellitengestützte Geodätische und Navigatorische Technologien mbH. Garben - Alemanha, 1996.

GPS-WORLD. June, 2000. Washington, v.11, n. 6, pp. 16 – 19.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, 343 p.

HOFMANN, W. B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS: Theory and Practice**. Wien: Springer-Verlag, 2001, 5^a. ed. (revised). 355 p.

IBGE - (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS**. Versão preliminar - resolução IBGE nº. 5 de 31/03/94 (NBR 13133/94). Coletânea das Normas Vigentes. Rio de Janeiro: preprint 1998, 74 p.

IPARDES – (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). **Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba**. Curitiba, 1990, 2 v., 257 p.

INPE - (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acessado em: junho de 2000.

KAHMEN, H. **Vermessungskunde**. 19 Edição. Walter de Gruyter (Berlim), New York, 1997, 732 p.

KENNIE, J. J. M.; PETRIE, G. **Engineering surveying technology**. New York: John Wiley, 1990.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

KRUEGER, C. P.; PRADO, A.; SOARES, C. R.; PILATI, F. B.; CARRILHO, J. C.; KRÜGER, M.; LAMOUR, M. **Performance dos receptores ASHTECH Reliance na determinação das coordenadas de feições na região da Ilha do Mel - PR**. Curitiba, 1997. Trabalho apresentado no Gis Brasil.

KRUEGER, C. P.; BÖDER, V.; SEEGER, G.; SOARES, C. R. **Aplicações do DGPS Preciso em tempo real no âmbito marinho**. Revista Brasileira de Cartografia nº. 51. Maio de 1999. pp. 59-71.

KRUEGER, C. P. **Relatório internacional – projeto de pesquisa para uma cooperação entre Brasil e Alemanha**. (Relatório Consolidado dos resultados). CNPQ / DLR. Curitiba, 2001, 81 p.

LAMOUR, M. R. **Dinâmica sedimentar do canal da Galheta, via de acesso ao porto de Paranaguá – PR**. Curitiba, 2000. Dissertação (Geologia). Departamento de Geologia. Centro de Estudos do Mar. Universidade Federal do Paraná.

LANGLEY, R. **Communications links for DGPS**. GPS World, may 1993. pp. 47-51.

LANGLEY, R. **RTK GPS**. GPS World, september 1998. pp. 70-72 e 74-76.

LANGLEY, R. **NAVSTAR GPS constellation and individual satellite status**. Disponível em: <<http://www.city.fredericton.nb.ca>>. Acessado em: dezembro de 2001.

LEICK, A. **GPS Satellite surveying**. New York: John Wiley and Sons, 1995, 2^a. ed. 560 p.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographical Information Systems**. Vol. 1. Principles and Technical Issues. New York: John Wiley and Sons (2^a. ed. revised), 1999. 580 p + 69 anexos.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba, 1968. BDP/UFPR/IBPT. 350 p.

MCDONALD, K. D. **GPS improvements in the nest decade**. Newsletter of Institut of Navigation, v. 9, n. 1, p. 5-9, 1999.

MENEZES, J. C. **Interpolação de modelos digitais de terreno a partir de isolinhas**. Curitiba, 1992. 170 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000, 287 p.

NIEFER, I. A. Disponível em: <<http://www.milenio.com.br/ilhas>>. Acessado em: outubro de 2000.

OLIVEIRA, L. M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba, 1998. Mineropar – Minerais do Paraná S/A. 51 p.

PARANHOS F^o., A. C.; SOARES, C. R.; ANGULO, R. J. **Nota sobre a erosão na ilha do Mel (PR)**. In: Bol. Par. Geoc. Curitiba, 1994, n^o. 42, pp. 153-159.

PARANHOS F^o., A. C. **O processo erosivo e as variações morfodinâmicas praias na ilha do Mel (baía de Paranaguá - PR)**. Curitiba, 1996. 239 p. Dissertação (Mestrado em Geologia com área de concentração em geologia ambiental). Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná.

PARKINSON, B. W.; SPILKER, J. J. **Introduction and Heritage of NAVSTAR, the Global Positioning System**. In: Positioning System: Theory and Applications. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996, Vol. 4, 793 p.

PEREIRA, M. A. M. Disponível em: <<http://www.ilhadomel.com>>. Acessado em: outubro de 2000.

PETTINATI, F. **Modelamento digital e representação gráfica de superfícies**. São Paulo, 1983. 67 p. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PRADO, A. **Análise da Precisão e de correlação espacial nas técnicas DGPS e RTK**. Curitiba, 2001. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

RTCM - (Radio Technical Commission for Maritime Service). **Recommended standards for differential NAVSTAR GPS Service**, v. 2.1. Washington, D. C., 1994.

RTCM - (Radio Technical Commission for Maritime Service). **Recommended standards for differential GNSS Service**, v. 2.2. Washington, D. C., 1998.

SANTOS, M. C. **Posicionamento por GPS**. Curso apresentado na EXPOGEO. Curitiba, 1999. 84 p.

SEGANTINE, P. C. L. **Curso de atualização em topografia e GPS**. São Carlos, 1996, 120 p. FIPAI (Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial), Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, methods and applications**. Berlin - New York, 1993, 531 p.

SPIKER, J. J., DIERENDONCK, A. J. **Proposed new civil GPS signal at 1176,45MHZ**. In: Int. Technical Meeting of the Satellite division of the U.S. Inst. Of Navigation. GPS ION 99. Nashville, TN, USA. pp. 1717-1725, 1999.

SUREHMA - (Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Conselho do Litoral). **Coletânea da Legislação de uso e ocupação do solo no litoral paranaense**. Curitiba, 1998. 122 p.

SOARES, C. R. **Natureza dos sedimentos de fundo das baías das Laranjeiras e Guaraqueçaba - Complexo estuarino de Paranaguá (PR)**. Rio Claro, 1990. 137 p. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental). Universidade Estadual Paulista.

SOARES, C. R.; ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. **Roteiro da excursão ao litoral do estado do Paraná: Morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o quaternário e problemas de erosão costeira**. VI Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário e reunião sobre o quaternário da América do Sul. Publicação Especial nº. 02. Curitiba, 1997. 172 p.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. **Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil)**. Acad. Bras. Ciências, 1996, pp. 405-424.

SOUZA, C. R. G. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do estado de São Paulo**. São Paulo, 1997. (Tese). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia Marinha**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992. 172 p.

SURFER. **User's Guide**. Golden Software Inc. USA, 1999.

VEIGA, L. A. K. **Cálculo de declividade em modelos digitais do terreno**. São Paulo, 1996. 169 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

WEIBEL, R.; HELLER, M. **Digital terrain modelling**. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. **Geographical Information Systems**. England: Longman, 1991. 649 p.

WELLS, D.; BECK, N.; DELIKARAOGLU, D.; KLEUSBERG, A.; KRAKIWSKY, E.; LACHAPPELLE, G.; LANGLEY, R.; NAKIBOGLU, M.; SCHWARZ, K. P.; DTRANQUILLA, J. M.; VANICEK, P. **Guide to GPS positioning**. Cap 09. Canadian GPS Associates, Fredericton, nº. 8, Canadá, 1986. Apêndice D14 p.

WÜBBENA, G.; BAGGE, A.; SEEBER, G.; BÖDER, V.; HANKEMEIER, P. **Reducing distance dependent errors for Real-Time Precise DGPS applications by establishing reference station networks**. ION GPS, 1996. Part 2 of 2 (September 17-20), Kansas City - Missouri.

ANEXO 1
GLOSSÁRIO DE TERMOS EM GEOLOGIA MARINHA

GLOSSÁRIO DE TERMOS EM GEOLOGIA MARINHA (SUGUIO, 1992):

AMBIENTE DE ALTA ENERGIA: Ambiente subaquático caracterizado por considerável movimentação de água pela ação de ondas e correntes, que não permitem a decantação de sedimentos de granulação fina, principalmente palitos que irão depositar-se em ambiente de baixa energia.

AMBIENTE DE BAIXA ENERGIA: Ambiente subaquático praticamente sem movimentação de água pela ação de ondas e correntes, fato que permite a decantação de sedimentos de granulação fina.

AMBIENTE SEDIMENTAR: Parte da superfície terrestre caracterizada por propriedades físicas, químicas e biológicas distintas das áreas adjacentes. Esses três parâmetros envolvem fauna, flora, geologia, geomorfologia, clima, etc. do meio ambiente e se for subaquoso tem-se, além disso, profundidade, temperatura, composição química, sistemas de correntes, etc. Alguns exemplos de ambientes sedimentares são desertos, deltas e plainos abissais.

ANTEPRAIA: Porção da praia entre o limite superior de preamar (escarpa praial) e a linha de baixamar ordinária, isto é, parte anterior da praia que sofre normalmente a ação das marés e os efeitos de espraiamento das ondas após a arrebentação. Os geomorfólogos brasileiros referem-se a esta parte da praia como estirão ou estirânico.

ASSOREAMENTO: Ato de encher com sedimentos ou outros materiais detríticos uma baía, um lago ou mar. Este fenômeno pode ser produzido naturalmente por rios, correntes costeiras e ventos ou através de influência antrópicas por obras de engenharia civil, tais como, portos, barragens, etc.

AVANÇO (DE PRAIA): Movimento contínuo da linha costeira mar adentro, em um determinado intervalo de tempo, em geral associado a acreção marinha.

BACIA: Área extensa e deprimida para onde correm os rios que drenam as áreas adjacentes. Área deprimida de formas circular ou elíptica, onde as camadas sedimentares apresentam mergulhos essencialmente centrípetos.

BAÍA: Trecho côncavo do litoral marinho ou lacustre delimitado entre dois cabos ou promontórios; menor do que um golfo e maior do que uma enseada.

BALANÇO SEDIMENTAR: A avaliação quantitativa de materiais erodidos e sedimentados, em um trecho de costa, constitui o seu balanço sedimentar. Existem várias maneiras para se estabelecer o

balanço sedimentar: comparação de mapas batimétricos de diferentes épocas, confronto de dados de dragagem, medidas de mudanças ocorridas nas praias e zonas litorâneas em relação a estruturas artificiais, fórmulas empíricas relacionando medidas de modificações em áreas com correspondente taxas volumétricas de transporte. A precisão dessas determinações aumenta proporcionalmente com o tempo de observação.

BÊNTICA: (Bentônico), diz-se de ser animal ou vegetal que vive no fundo do mar ou de lago. Fauna e Flora de fundo.

CANAL: Curso de água natural ou artificial que serve de interligação entre corpos de água maiores. Porção de um corpo de água (baía, estuário, etc.) com profundidade suficiente para navegação.

CANANÉIA: Transgressão do Pleistoceno Superior que ocorreu há aproximadamente 123.000 anos A.P, afetando grande parte da costa brasileira. Testemunhos desta transgressão, representados por terraços de construção marinha, estão amplamente distribuídos ao longo da costa do Brasil e constituem a Formação Cananéia, definida por SUGUIO e PETRI (1973) na região Cananéia (SP). Em geral, este terraço situa-se cerca de 8 a 10m acima do nível marinho atual

CÉLULAS DE DERIVA LITORÂNEA: Setor do litoral onde a sedimentação é mais acentuada, em detrimento de outros trechos.

COSTA DE PROGRADAÇÃO: Constitui uma costa em recuo, isto é, a linha costeira avança mar adentro e que, segundo VALENTIN (1952), pode resultar de processos orgânicos (costas com corais e manguezais) e inorgânicos (sedimentação marinha ou fluvial).

DEGRADAÇÃO: Rebaixamento da superfície de um terreno por processos erosivos, especialmente pela remoção de materiais através da erosão e transporte por água corrente, em contraposição à aggradação .

DERIVA LITORÂNEA: Movimentação de areias, cascalhos e outros materiais componentes das barras e praias ao longo da costa. Material movimentado na zona litorânea, principalmente por ação de ondas e correntes.

DESEMBOCADURA: Saída ou ponto de descarga de um curso fluvial em um outro rio, lago, ou mar. Abertura que permite a entrada ou saída em uma gruta, cânãõ submarino, etc.

DINÂMICA COSTEIRA: Os principais agentes naturais de dinâmica costeira são gerados por forças astronômicas, impulsivas e meteorológicas. As forças astronômicas são responsáveis pelas marés, que causam mudanças periódicas no nível do mar e, portanto, modificam as larguras das faixas praias nas quais atuam outros processos. As forças impulsivas são responsáveis pelos terremotos, deslizamentos subaéreos e erupções vulcânicas que podem ocasionar mudanças catastróficas na zona costeira. As ondas são os principais agentes ligados a forças meteorológicas que, por sua vez, podem ser refratadas, difratadas ou refletidas ou mesmo absorvidas durante a sua propagação na zona costeira. Por outro lado o homem é hoje em dia um agente muito importante de dinâmica costeira. (Ex: Japão, construção de diques, espigões, quebra-mares, portos).

EROSÃO COSTEIRA: A erosão costeira é um processo, em geral natural, que pode atuar tanto em costa rasa (com praias) como escarpada (com falésias). Desta maneira, a erosão praial e erosão de falésia correspondem a casos particulares de erosão costeira.

EROSÃO PRAIAL: remoção de sedimentos praias pela ação das ondas, correntes de marés, correntes de deriva litorânea ou vento. O processo é acelerado quando ocorre um *déficit* de fornecimento em relação à taxa de remoção de sedimentos, fato que se verifica principalmente por interferência antrópica inadequada, por exemplo, quando se verifica o efeito de represamento ou por construção de espigões interceptando a deriva que, em grandes profundidades, as correntes de turbidez sejam as causas principais da erosão submarina.

ESPORÃO: Feição deposicional em geral arenosa, mas podendo conter cascalhos, formada por uma série de cristas praias conectadas ao continente ou a uma ilha por uma das extremidades. A extremidade livre projeta-se para dentro de um corpo aquoso (baía, laguna, etc.). A formação do esporão deve-se à ação de correntes litorâneas.

ESTUÁRIO: Corpo aquoso litorâneo de circulação mais ou menos restrita, porém ainda ligado a oceano aberto. Sob o ponto de vista geológico, os estuários são considerados como feições transitórias, que normalmente acabam por ser preenchidas por depósitos de mangues, deltas ou marés.

FALÉSIA: Designação comum a terras ou rochas altas e íngremes à beira mar. Resultado da erosão marinha.

HOLOCÊNICO: Período compreendido entre 7.750 e 5.000 anos A.P. (antes do presente).

HOLOCENO: Época geológica mais recente correspondente a subdivisão do período Quaternário. O nome é derivado das palavras gregas holos (todo) e kainos (recente). O Holoceno abrange o intervalo de tempo desde 10.000 anos A.P. até hoje, sendo também conhecido como Recente.

ILHA: Área de terra emersa menor do que um continente, circundada por corpo de água em um oceano, mar, lago ou rio.

ISTMO: Faixa de terra cercada de água por dois lados, que serve de ligação para corpos continentais bem maiores ou faixa de terra que liga uma península ao continente.

LAMA TERRÍGENA: Em profundidades oceânicas existem estas lamas, são argilas sílticas derivadas das terras emersas adjacentes. Apresentam cores diversas de acordo com as áreas fontes e condições locais. O teor de organismos é muito baixo devido à sedimentação relativamente rápida.

MARÉ ALTA/PREAMAR: Altura máxima atingida durante cada fase de subida da maré.

PENÍNSULA: Porção de terra cercada de água por todos os lados, menos por um, pelo qual se liga a outra terra.

PROGRADAÇÃO: Mecanismo de avanço de linha costeira, mar adentro, normalmente relacionado à sedimentação por processos marinhos litorâneos ou fluviais.

QUATERNÁRIO: Período geológico mais moderno, subdividido em duas épocas: Pleistoceno (1800.000 anos até 10.000 anos A.P) e o Holoceno (10.000 anos A.P até hoje).

SAMBAQUIS: Montes artificiais de conchas de moluscos construídos pelos antigos habitantes de planícies costeiras. Essas acumulações de cochas podem ser até algumas dezenas de metros de altura e algumas centenas de metros de diâmetro. Contém instrumentos líticos, ossadas humanas e fragmentos de cerâmica, além de ossos de outros animais. No Brasil, os sambaquis são mais frequentes na costa sul (SC e PR).

SEDIMENTAÇÃO: Decantação de partículas minerais ou orgânicas em meio subaquoso ou eólico sob condições físico-químicas normais. O material transportado pode ser derivado de rochas pré-existentes ou originado por processos biológicos.

ZONA COSTEIRA: Relativo às águas costeiras e terras emersas adjacentes, em constante interação.

APÊNDICE 1

RESULTADOS (*REPORTER*) DE SAÍDA FORNECIDOS PELO SURFER

VOLUME COMPUTATIONS (VOLUME97IDZ0)

UPPER SURFACE

Grid File: D:/USUARIO/ELAINE/OUTISTMO97ID.GRD

Grid size as read: 61 cols by 58 rows

Delta X: 5

Delta Y: 4.96491

X-Range: 7.1724E+006 to 7.1727E+006

Y-Range: 770527 to 770810

Z-Range: 1.75658 to 5.447

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 66690.1

Simpson's Rule: 66933.3

Simpson's 3/8 Rule: 66841.2

CUT & FILL VOLUMES

Positive Volume [Cut]: 66690.1

Negative Volume [Fill]: 0

Cut minus Fill: 66690.1

AREAS

Positive Planar Area

(Upper above Lower): 19363.2

Negative Planar Area

(Lower above Upper): 0

Blanked Planar Area: 65536.8

Total Planar Area: 84900

Positive Surface Area

(Upper above Lower): 19392.1

Negative Surface Area

(Lower above Upper): 0

VOLUME COMPUTATIONS (VOLUME99ID)

UPPER SURFACE

Grid File: D:/USUARIO/ELAINE/ISTMO97ID/OUT99ID.GRD

Grid size as read: 61 cols by 58 rows

Delta X: 5

Delta Y: 4.96491

X-Range: 7.1724E+006 to 7.1727E+006

Y-Range: 770527 to 770810

Z-Range: 0.31728 to 3.42175

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 41931.9

Simpson's Rule: 42183.5

Simpson's 3/8 Rule: 42075

CUT & FILL VOLUMES

Positive Volume [Cut]: 41931.9

Negative Volume [Fill]: 0

Cut minus Fill: 41931.9

AREAS

Positive Planar Area

(Upper above Lower): 19363.2

Negative Planar Area

(Lower above Upper): 0

Blanked Planar Area: 65536.8

Total Planar Area: 84900

Positive Surface Area

(Upper above Lower): 19446.5

Negative Surface Area

(Lower above Upper): 0

VOLUME COMPUTATIONS (VOLUME2001ID)

UPPER SURFACE

Grid File: D:/USUARIO/ELAINE/ISTMO97ID/OUT2001.GRD

Grid size as read: 61 cols by 58 rows

Delta X: 5

Delta Y: 4.96491

X-Range: 7.1724E+006 to 7.1727E+006

Y-Range: 770527 to 770810

Z-Range: 1.3211 to 3.59629

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 59252.9

Simpson's Rule: 59596.8

Simpson's 3/8 Rule: 59396.2

CUT & FILL VOLUMES

Positive Volume [Cut]: 59252.9

Negative Volume [Fill]: 0

Cut minus Fill: 59252.9

AREAS

Positive Planar Area

(Upper above Lower): 19338.3

Negative Planar Area

(Lower above Upper): 0

Blanked Planar Area: 65561.7

Total Planar Area: 84900

Positive Surface Area

(Upper above Lower): 19345.5

Negative Surface Area

(Lower above Upper): 0